



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN LA RIBERA DEL
RÍO TULUMAYO PARA REMEDIACIÓN DE AGUAS AFECTADAS
POR CROMO Y CADMIO PROVENIENTES DE ACTIVIDADES
MINERAS, CHANCHAMAYO, JUNIN”**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

Alejandra Isabel Carpio Segovia (0000-0002-1703-056X)

Vanessa Scarleth Toro Ruiz (0000-0002-6181-7511)

Asesora:

Susan Mery Medina Canzio (0000-0003-2574-7728)

Lima – Perú

2024

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 15 de febrero del 2024.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Claudia Vanina Arias
Miembro: Mg. Vladimir Alfonso León Menacho
Miembro: Mg. Vladimir Fernando Camel Paucar

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

“DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN LA RIBERA DEL RÍO TULUMAYO PARA REMEDIACIÓN DE AGUAS AFECTADAS POR CROMO Y CADMIO PROVENIENTES DE ACTIVIDADES MINERAS, CHANCHAMAYO, JUNIN”

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Alejandra Isabel Carpio Segovia**
- **Vanessa Scarleth Toro Ruiz**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Dra. Susan Mery Medina Canzio

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de las tesis de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime () por mayoría simple (x) calificar a:

Tesis: Alejandra Isabel Carpio Segovia & Vanessa Scarleth Toro Ruiz		Nota: 16 (DIECISÉIS)	
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (x)	Aprobado Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dra. Claudia Vanina Arias
Presidente



Mg. Vladimir Alfonso León Menacho
Miembro 1



Mg. Vladimir Fernando Camel Paucar
Miembro 2



Dra. Susan Mery Medina Canzio
Asesora

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN¹

Lima, 01 de abril de 2024

Señor,
Dr. Carlos Zavalaga Reyes

**Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –**

De nuestra consideración,

Yo: Alejandra Isabel Carpio Segovia y Vanessa Scarleth Toro Ruiz, egresadas de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con la asesora de tesis Susan Medina Canzio, declaramos que este informe final de tesis titulado: "Diseño de un humedal artificial en la ribera del río Tulumayo para remediación de aguas afectadas por cromo y cadmio provenientes de actividades mineras, Chanchamayo, Junín" sustentado para obtener el título de ingeniera ambiental es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de nuestra investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos ², que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



**Alejandra Isabel Carpio
Segovia
DNI: 71535380**



**Asesora: Susan Medina Canzio
DNI: 42271726**



**Vanessa Scarleth Toro Ruiz
DNI: 72221994**

¹ En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD

² Los documentos están en: <https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/>

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Diseño de un humedal artificial en la ribera del río Tulumayo para remediación de aguas afectadas por cromo y cadmio provenientes de actividades mineras, Chanchamayo, Junín

Autores. Alejandra Isabel Carpio Segovia; Vanessa Scarleth Toro Ruiz

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2337197599).

Resultado de la evaluación. 9%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



DEDICATORIA

A nuestros padres y a todas aquellas personas que nos brindaron un apoyo constante, guiándonos a lo largo de esta etapa.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestros padres por el apoyo constante y la motivación para poder avanzar día a día hasta poder concluir este proyecto, también agradecemos a nuestras hermanas y demás seres queridos que siempre nos dieron la mano acompañándonos y estando pendiente de nosotras.

También queremos agradecer a nuestros amigos que siempre nos apoyaron desde los primeros ciclos de la universidad hasta el día de hoy.

Así mismo, queremos agradecer a nuestra asesora de tesis; Susan Medina, por habernos guiado y por darnos las herramientas que contribuyeron al desarrollo de este proyecto, así como al Sr. Paul y la Sra. Nadia quienes nos brindaron todo el soporte cuando decidimos aventurarnos a la ciudad de San Ramón para poder conocer y evaluar de forma presencial las locaciones en las cuales se propuso el presente proyecto.

Finalmente agradecemos haber tenido la oportunidad de trabajar juntas y colaborar en el desarrollo de la presente investigación la cual contribuyó de gran manera en nuestros conocimiento y crecimiento profesional.

ÍNDICE GENERAL	
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE GENERAL	5
INDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE ANEXOS	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1. Identificación del problema	14
2. Formulación de la pregunta de investigación	15
II. MARCO TEÓRICO	16
III. OBJETIVOS	20
1. Objetivo 1	20
1.1. <i>Objetivo general</i>	20
1.2. <i>Objetivos específicos</i>	21
2. Objetivo 2	21
2.1. <i>Objetivo general</i>	21
2.2. <i>Objetivos específicos</i>	21
IV. METODOLOGÍA	22

1. Identificación de zonas de la selva peruana afectadas por la contaminación minera en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín y Huánuco	22
1.1. Lugar de análisis	22
1.2. Obtención de información	22
1.3. Elaboración de línea base	24
2. Identificación de pasivos ambientales mineros generados por la actividad minera en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín y Huánuco	25
3. Caracterización del río Tulumayo y el lugar propuesto para el humedal artificial	26
3.1. Descripción del área de estudio	26
3.2. Caracterización del río Tulumayo	28
3.3. Muestreo de Agua	30
4. Identificar el caudal de agua requerido para el desarrollo de actividades en la población del distrito de San Ramón	31
4.1. Cálculo del caudal agrícola	32
5. Cálculo de dimensiones de un humedal artificial de flujo subsuperficial usando la especie <i>Tessaria integrifolia</i> Ruiz & Pav. (pájaro bobo) y biochar para la remoción de cadmio (Cd) y cromo (Cr) a fin de cumplir con el Estándar de Calidad de Agua (ECA) del Perú	32
5.1. Cálculo del área superficial del humedal artificial	32

a.	<i>Modelo para remoción de fósforo</i>	33
b.	<i>Modelo para remoción de nitrógeno</i>	35
5.2.	<i>Implementación de filtro de biochar</i>	37
5.3.	<i>Elaboración de la proyección en 3D del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal</i>	38
V.	RESULTADOS	39
2.1.	<i>Resultados del muestreo de agua superficial del río Tulumayo</i>	41
2.2.	<i>Análisis de propuesta del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal</i>	42
VI.	DISCUSIÓN	49
1.	Análisis del estado de la contaminación minera durante los años 2018, 2019 y 2020 de la selva de Perú en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín y Huánuco	49
2.	Propuesta de la implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial usando <i>Tessaria integrifolia</i> Ruiz & Pav. combinado con biochar para la remoción de cromo y cadmio del río Tulumayo.	53
VII.	CONCLUSIONES	54
VIII.	RECOMENDACIONES	55
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
X.	ABREVIATURAS	67
XI.	ANEXOS	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un humedal artificial de flujo superficial libre (Tilley et al., 2018)

Figura 2. Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial (Tilley et al., 2018)

Figura 3. Mapa de la ubicación del posible área para la implementación del humedal artificial en Chanchamayo, Junín, Perú (Google Earth).

Figura 4. Imagen in situ de la posible área para la implementación del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en Chanchamayo, Junín Perú.

Figura 5. Ubicación de los puntos de muestreo de agua, arriba y abajo en el río Tulumayo con relación a la relavera La Esperanza Chanchamayo, Junín

Figura 6. Ubicación de las concesiones mineras metálicas en Perú en los años 2018 a 2020

Figura 7. Ubicación de la minería informal, pasivos ambientales mineros y denuncias ambientales en los años 2018 a 2020

Figura 8. Número de mineras metálicas en proceso de formalización, pasivos y denuncias ambientales por departamento

Figura 9. Comparación del área superficial del humedal artificial con el porcentaje de remoción de cadmio (Cd) y cromo (Cr) usando el modelo de nitrógeno

Figura 10. Comparación del área superficial del humedal artificial con el porcentaje de remoción de cadmio (Cd) y cromo (Cr) usando el modelo de fósforo

Figura 11. Proyección en 3D de la propuesta de diseño del humedal artificial subsuperficial con vistas aéreas a) sin plantas b) con plantas

Figura 12. Proyección en 3D de la propuesta de diseño del humedal artificial subsuperficial horizontal en corte longitudinal

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capas (*Shapefiles*), fuentes utilizadas y proyecciones para la elaboración de línea base

Tabla 2. Definición de pasivos ambientales mineros según su estado

Tabla 3. Resumen del número de pasivos ambientales mineros metálicos abiertos y cerrados por departamento

Tabla 4. Resultados de las concentraciones de cadmio (Cd) y cromo (Cr) del muestreo de agua superficial del río Tulumayo

Tabla 5. Parámetros para el cálculo del del humedal artificial

Tabla 6. Dimensiones del humedal artificial

Tabla 7: Resumen de presupuesto total aproximado del humedal artificial en soles

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla resumen de la actividad minera e impacto ambiental por departamento de la selva peruana

Anexo 2. Proyección con el modelo de remoción de fósforo para la estimación de dimensiones para el humedal artificial

Anexo 3. Proyección con el modelo de remoción de nitrógeno para la estimación de dimensiones para el humedal artificial

RESUMEN

La minería es una de las principales causantes de la contaminación y alteración de ecosistemas fluviales en Perú, afectando la salud de organismos acuáticos y terrestres por la concentración acumulada de agentes contaminantes como cadmio (Cd) y cromo (Cr). La presente investigación busca identificar zonas impactadas por la minería metálica en la selva peruana durante los años 2018, 2019 y 2020, enfocándose en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín y Huánuco, a través de un mapa base y un análisis geoespacial de las áreas con presencia de actividad minera metálica informal, pasivos ambientales mineros (PAM) y denuncias ambientales. Asimismo, busca calcular las dimensiones de un humedal artificial de flujo subsuperficial usando la especie nativa *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. con el fin de remover cadmio (Cd) y cromo (Cr) de aguas provenientes del río Tulumayo ubicado en Chanchamayo, Junín. Para ello, se consideró la población de la ciudad de San Ramón, el caudal poblacional, el caudal agrícola y los modelos de fósforo y nitrógeno.

Los resultados señalan que las zonas críticas afectadas por la minería metálica en la selva peruana se ubican en los departamentos de Madre de Dios, Huánuco, Junín y Amazonas. Por otro lado, las dimensiones del humedal artificial fueron: 19,42 m de ancho, 38,96 m de largo y un área transversal de 15,98 m², con una profundidad de 0,8 m. Esta estructura ocupa un área aproximada de 758,92 m², con una capacidad de diseño de 779,19 m³. día⁻¹ para obtener una efectividad del 50% de remoción de cromo y cadmio con una población de 200 personas y un caudal poblacional de 30 m³.d⁻¹.

En la presente investigación, la implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal representa una opción integrada y sostenible para la remoción de cadmio y cromo en el sitio de estudio.

Palabras clave: humedal artificial, *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav., minería metálica, cadmio, cromo, fitorremediación.

ABSTRACT

Mining is one of the main contributors to the pollution and disruption of river ecosystems in Peru, impacting the health of aquatic and terrestrial organisms through the accumulation of contaminants such as cadmium (Cd) and chromium (Cr). This research aims to identify areas affected by metallic mining in the Peruvian jungle during the years 2018, 2019, and 2020, focusing on the departments of Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín, and Huánuco. This is achieved through a base map and geospatial analysis of areas with informal metallic mining activity, environmental mining liabilities (EML), and environmental complaints. Additionally, the study seeks to calculate the dimensions of a subsurface flow artificial wetland using the native species *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav., to remove cadmium (Cd) and chromium (Cr) from waters of the Tulumayo River in Chanchamayo, Junín. Factors considered include the population of the city of San Ramón, population flow, agricultural flow, and phosphorus and nitrogen models.

Results indicate that the critically affected areas by metallic mining in the Peruvian jungle are located in the departments of Madre de Dios, Huánuco, Junín, and Amazonas. On the other hand, the dimensions of the wetland are 19,42 m wide, 38,96 m long, with a cross-sectional area of 15,98 m², and a depth of 0,8 m. This structure occupies an approximate area of 758,92 m², with a design capacity of 779,19 m³.day⁻¹ to achieve a 50% removal efficiency of chromium and cadmium with a population of 200 people and a population flow of 30 m³.day⁻¹.

The implementation of a subsurface horizontal flow artificial wetland represents an integrated and sustainable alternative for the removal of cadmium and chromium at the study site.

Keywords: artificial wetland, *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav., metallic mining, cadmium, chromium, phytoremediation.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. Identificación del problema

El informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de Recursos Hídricos 2021, identificó que el estrés hídrico y el déficit de agua es un problema emergente en la región de América del Sur y el Caribe. El estrés hídrico ha desencadenado diversos conflictos, debido a la competencia por el agua entre diversos sectores como la agricultura, las hidroeléctricas, el saneamiento y, notablemente la minería. La actividad minera está concentrada en zonas de gran altitud donde a menudo contamina las fuentes de agua disponibles, intensificando el estrés hídrico y provocando la indignación de la población (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2021).

Perú es un país con abundantes recursos hídricos, sin embargo, a su vez es uno de los países con mayor estrés hídrico de América Latina debido a la contaminación (Salem et al., 2018), siendo la generación de aguas residuales no tratadas o insuficientemente tratadas derivadas de la minería uno de los principales motivos (Vargas et al., 2018).

De acuerdo con el Instituto Peruano de Economía, en el 2018, la actividad minera representaba un papel central en la economía local del departamento de Junín (Mendoza, 2019). Sin embargo, también viene generando problemas en el entorno natural causando alteraciones físicas y químicas en los ecosistemas fluviales, dejándolos susceptibles a la degradación y pérdida de la biodiversidad (Ahmad y Yusoff, 2019). Un ejemplo es el río Tulumayo que fue afectado por los residuos metálicos de la Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.A. En la Resolución Directoral No. 671-2014-OEFA / DFSAI / PAS de del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) encontraron fallas en su tratamiento de residuos (OEFA, 2013, 2014). En ese sentido, los contaminantes como el cadmio (Cd) y cromo (Cr) juegan un papel relevante, ya que pueden acumularse en la cadena alimentaria, afectando a una amplia gama de organismos acuáticos y terrestres, pudiendo causar incluso daños a la salud como cáncer, enfermedades renales, trastornos nerviosos, entre otros (Londoño et al., 2016).

Los humedales construidos o humedales artificiales han sido catalogados como una tecnología efectiva y económica para la descontaminación de cuerpos de agua (Quevedo, 2021). En este estudio se investigó si la construcción de humedales artificiales con la planta nativa *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. son una solución viable para la descontaminación de recursos hídricos en la selva peruana.

2. Formulación de la pregunta de investigación

¿Cuál es la viabilidad del uso de humedales artificiales de flujo subsuperficial usando la planta *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. (pájaro bobo) de la ribera

del río Tulumayo para la remediación de aguas afectadas por cromo (Cr) y cadmio (Cd) provenientes de actividades mineras en la selva de Perú?

II. MARCO TEÓRICO

Perú es reconocido a nivel global como uno de los principales productores y exportadores de minerales, esta actividad contribuye en gran medida al crecimiento económico del país, representando aproximadamente el 60% de sus exportaciones (Dammert, 2020). De hecho, la expansión minera que ha experimentado Perú en las últimas dos décadas ilustra las tendencias globales en esta industria. Junto a la minería formal, la minería artesanal, la informal y la ilegal han ganado terreno, particularmente en el sector de la minería aurífera. A pesar de su creciente relevancia, esta última no ha sido ampliamente documentada en investigaciones ni ensayos, lo que ha reducido su visibilidad (De Echave, 2016).

Existen diferentes programas y softwares como el portal virtual GEOCATMIN; del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, INGEMMET y el portal Interactivo de Fiscalización Ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), que permiten identificar problemas ambientales causados por la minería. Sin embargo, su utilidad se ve limitada por la falta de información y fragmentación de datos, dificultando la evaluación de la situación presente de la minería en Perú y la identificación de soluciones viables para los sitios afectados por la actividad minera.

Con miras de hacer frente a la contaminación por metales pesados se han desarrollado diferentes métodos de remediación, como la incineración o excavación del suelo (Cristaldi et al., 2017). Sin embargo, estos métodos

presentan implicaciones técnicas y financieras negativas (Mahar et al., 2015). Alternativamente, los biofiltros vegetales han emergido como un método eficiente y ecológico para descontaminar metales peligrosos y restaurar sitios impactados (Kumar Patra et al., 2019).

Los biofiltros vegetales se basan en el uso de plantas adaptadas o modificadas genéticamente capaces de extraer sustancias peligrosas como metales pesados (Mahar et al., 2015). Descontaminan el suelo y el agua, trasladando los metales hacia la rizosfera, donde son estabilizados y posteriormente transportados a las partes aéreas (Kumar Patra et al., 2019). Este método es aplicable a tratamientos de recuperación con plantas de la zona, ya que no interfiere con el ecosistema (Cristaldi et al., 2017), es económico, agrega un valor estético y tiene aplicaciones prácticas en el campo que son a largo plazo (Kumar Yadav et al., 2018).

Los humedales artificiales, son sistemas de tratamiento biológico inspirados en ecosistemas naturales diseñados considerando factores ambientales y operativos (Wang et al., 2021). En la selva peruana, el diseño de un humedal artificial debe adaptarse a condiciones únicas de alta humedad, abundante precipitación y diversidad excepcional. Un aspecto crucial es la selección de plantas nativas que puedan prosperar en condiciones de alta humedad y contribuir a la eficacia del tratamiento de aguas residuales, aprovechando su capacidad para absorber nutrientes y contaminantes (Biswal y Balasubramanian, 2022).

Un humedal artificial, es un canal artificial ligeramente inclinado, equipado con capas que ayudan a la impermeabilización a fin de evitar la

contaminación de acuíferos (Manino et al., 2008). El agua fluye a través de este sistema, el cual puede contar con vegetación que contribuye a la depuración física, química y microbiológica (Biswal y Balasubramanian, 2022).

Existen diferentes tipos de humedales, entre ellos los de sistema superficial y sub superficial. Según Conagua (2015), un humedal de flujo superficial es aquel en el cual las plantas se encuentran enraizadas en el fondo del humedal y el agua se desplaza sobre la superficie, interactuando con las hojas y tallos de las plantas (Figura 1). Este tipo de humedal es eficaz para el manejo de aguas residuales y puede mejorar la calidad de agua mediante procesos físicos, químicos y biológicos (Tilley et al., 2018).

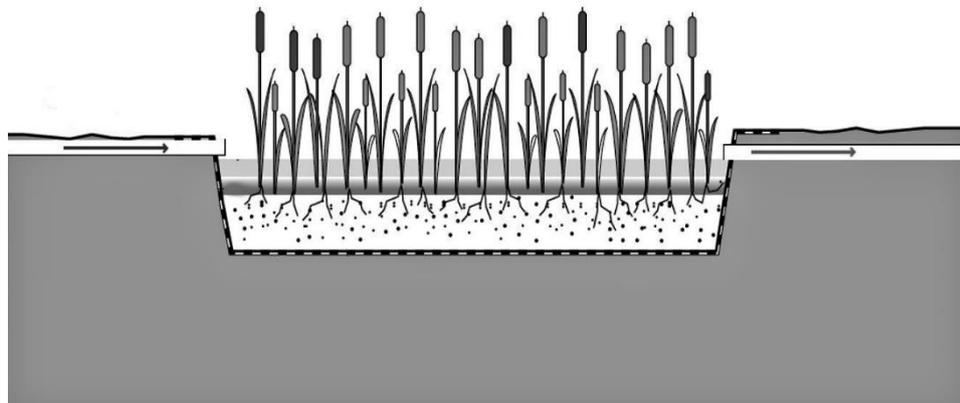


Figura 1. Esquema de un humedal artificial de flujo superficial libre (Tilley et al., 2018)

Mientras que, en un humedal de flujo sub superficial, el flujo laminar no es visible, ya que el agua atraviesa un lecho compuesto por arena, grava o suelo en el cual solo tiene contacto con las raíces de las plantas (Wang et al., 2021) (Figura 2). En este sistema, el contacto con la vegetación contribuye con la transferencia suministrando una mínima cantidad de oxígeno a las raíces para

permitir la participación de las bacterias y que estas puedan contribuir con la degradación de material orgánico (Merino, 2017).

Así mismo, este diseño permite un tratamiento más controlado y eficiente, reduciendo la posibilidad de presencia de mosquitos y otros vectores. Es muy útil en áreas en las cuales el espacio es limitado o donde se requiera un mayor tratamiento (Tilley et al., 2018).

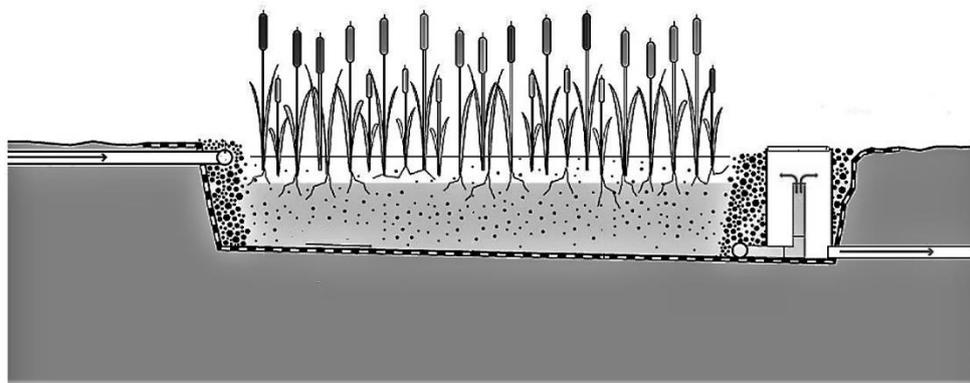


Figura 2. Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial (Tilley et al., 2018)

En ese sentido, los humedales artificiales, emergen como una solución efectiva, especialmente los de flujo subsuperficial. Estos sistemas, gracias a un mejor contacto y adsorción, pueden remover eficazmente metales como el zinc y cadmio, con tasas de eliminación de hasta el 97% y 99%, respectivamente (Estrada, 2010; Gersberg et al., 1984). Crites et al. (2014) en el libro “*Natural wastewater treatment systems*”, destacan además la alta eficiencia del humedal de flujo subsuperficial para la remoción fósforo y metales pesados.

La especie *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav., vulgarmente conocida como pájaro bobo, representa un papel importante en estos sistemas. Según Rojas (2020), esta especie mostró una notable acumulación de plomo y zinc, demostrando su potencial como planta fitorremediadora. Adaptada al ambiente amazónico húmedo y cálido (Dousseau et al., 2014), dicha especie ha desarrollado una probable tolerancia a los metales pesados y su uso no afecta la fauna local, ya que no es una fuente de alimento para ellos (Rojas, 2020; Gupta et al., 2011).

Complementando la estrategia del diseño de un humedal artificial y con el objetivo de potenciar su eficiencia, se incorpora el biochar, el cual es producido a través de un proceso de pirólisis de biomasa vegetal, ofrece una amplia superficie y una estructura microporosa para la adsorción o medio filtrante de contaminantes (Guo et al., 2020; Reddy et al., 2014). Siendo su capacidad de retener agua, nutrientes y metales pesados crucial en procesos de remediación (Qiu et al., 2021).

III. OBJETIVOS

1. Objetivo 1

1.1. Objetivo general

Determinar el estado de la contaminación minera durante los años 2018, 2019 y 2020 de la selva de Perú en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín y Huánuco.

1.2. Objetivos específicos

OE1: Identificar las principales zonas de la selva peruana afectadas por la contaminación minera en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín y Huánuco.

OE2: Identificar los pasivos ambientales mineros generados por la actividad minera en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín y Huánuco.

2. Objetivo 2

2.1. Objetivo general

Proponer la implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial usando *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. combinado con biochar para la remoción de cromo y cadmio del río Tulumayo.

2.2. Objetivos específicos

OE1: Identificar el caudal de agua requerido para el desarrollo de actividades en la población del distrito de San Ramón.

OE2: Calcular las dimensiones de un humedal artificial de flujo subsuperficial usando la especie *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. (pájaro bobo) y biochar para la remoción de cadmio (Cd) y cromo (Cr) a fin de cumplir con el Estándar de Calidad de Agua (ECA) del Perú.

IV. METODOLOGÍA

1. Identificación de zonas de la selva peruana afectadas por la contaminación minera en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín y Huánuco

1.1. Lugar de análisis

Se inició la elaboración de la línea base evaluando el estado de la actividad minera en el Perú durante los años 2018, 2019 y 2020, periodos para los cuales se dispone de mayor información. Esto permitió definir las principales características de la actividad minera en el país.

La investigación se centró en los departamentos de Amazonas (Coordenadas: E: 820779; N: 9385489. Zona 17S), Loreto (Coordenadas: E: 641931; N: 9594483. Zona 18S), San Martín (Coordenadas: E: 309054; N: 9225958. Zona 18S), Madre de Dios (Coordenadas: E: 338640; N: 8668483. Zona 19S), Ucayali (Coordenadas: E: 659644; N: 8950900. Zona 18S), Junín (Coordenadas: E: 540974; N: 8747739. Zona 18S) y Huánuco (Coordenadas: E: 4222971; N: 8947552. Zona 18S), dada su relevancia como zonas de intensa actividad minera en el Perú.

1.2. Obtención de información

Para la elaboración de los mapas base, se identificó el archivo de forma o *shapefile* correspondiente al mapa político del Perú en el cual se encuentran detallados todos los departamentos del país, obtenido desde el sitio web del Instituto Geográfico Nacional (IGN) donde se encuentran

para el uso público. A continuación, se agregó al mapa base la información relacionada a la hidrografía del país, por lo cual desde la página web de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) se descargó el *shapefile* correspondiente a las cuencas hidrográficas, logrando identificar los ríos, lagos, lagunas y otras fuentes del área de estudio.

Se obtuvo información sobre las concesiones mineras metálicas, representativas de la mediana y gran minería del país, desde el Sistema de Información Geológico y Catastral Minero (GEOCATMIN). Además, de acuerdo con el principio de transparencia y el Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, fue posible solicitar al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) la información relacionada a la pequeña minería, minería informal y minería ilegal en la selva del Perú.

Desde el sitio web del Ministerio de Energía y Minas (MINEM) se descargaron los inventarios de pasivos ambientales mineros correspondientes a los años 2018, 2019 y 2020, publicados mediante las Resoluciones Ministeriales N° 224-2018, N° 010-2019 y N° 238-2020. A continuación, se filtraron los pasivos correspondientes a los departamentos de estudio y se procedió con la evaluación para determinar aquellos que se encontraban abiertos, contaban con un plan de cierre o se encontraban cerrados.

Finalmente, para la obtención de información sobre denuncias relacionadas con el objeto de estudio, se recurrió a los informes de la Defensoría del Pueblo y al Portal Interactivo de Fiscalización Ambiental

del OEFA, esto permitió identificar casos en los que la denuncia podría estar vinculada con la presencia de actividad minera metálica.

1.3. Elaboración de línea base

Se procedió a la compilación de información correspondiente a la minería metálica en proceso de formalización, pasivos ambientales mineros, denuncias ambientales y concesiones mineras metálicas en particular aquellas que se encontraban activas durante los años de estudio. Esta información fue necesaria para la proyección en el sistema de información geográfica QGIS, cuyo objetivo fue generar el mapa base para la evaluación.

En ese sentido, en la tabla 1 se pueden observar las capas (*shapefiles*) ingresadas en los mapas base.

Tabla 1. Capas (*Shapefiles*), fuentes utilizadas y proyecciones para la elaboración de línea base

CAPAS (<i>SHAPEFILE</i>) PARA LA ELABORACIÓN DE LA LÍNEA BASE		
NOMBRE DE CAPA	FUENTE	PROYECCIÓN
Mapa político del Perú	Instituto Geográfico Nacional	WGS84 UTM (Zona 17S, 18S, 19S)
Red hídrica del Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	
Concesiones Mineras Metálicas	Geoportal del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)	
Minería en proceso de formalización	Ministerio de Energía y Minas - REINFO	
Inventario de pasivos ambientales mineros	Ministerio de Energía y Minas	

Denuncias Ambientales	Portal interactivo de Fiscalización Ambiental del OEFA y Defensoría del Pueblo	
-----------------------	--	--

2. Identificación de pasivos ambientales mineros generados por la actividad minera en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín y Huánuco

En primer lugar, se realizó una categorización del inventario de pasivos ambientales mineros de acuerdo con la información obtenida en el sitio web del MINEM descargando los inventarios de pasivos ambientales mineros correspondientes a los años 2018, 2019 y 2020, publicados mediante las Resoluciones Ministeriales N° 224-2018, N° 010-2019 y N° 238-2020, con el objetivo de determinar el estado en el cual se encuentran dichos pasivos, teniendo como referencia las siguientes definiciones descritas en la tabla 2:

Tabla 2. Definición de pasivos ambientales mineros según su estado

Estado	Definición
Abierto	Se consideraron aquellos pasivos ambientales que figuran durante los 2018, 2019 y 2020 en el inventario de pasivos ambientales sin un plan de cierre.
Con plan de cierre	Son aquellos que, de acuerdo con el inventario de pasivos ambientales, cuentan con un plan de cierre.
Cerrado	Son aquellos que, de acuerdo con el inventario de pasivos ambientales, no figuran en la última actualización del documento.

A partir de la información obtenida y una vez organizada, se elaboró un cuadro resumen en el cual se puede identificar el número de concesiones mineras metálicas, pasivos ambientales mineros, y denuncias ambientales por cada departamento estudiado a fin de encontrar relaciones entre ellos.

3. Caracterización del río Tulumayo y el lugar propuesto para el humedal artificial

3.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio, en el cual se plantea ubicar computacionalmente un humedal artificial corresponde a la cuenca del río Tulumayo, situada entre los distritos de San Ramón (Coordenadas: E: 460853; N: 8770318. Zona 18S) y Vitoc (Coordenadas: E: 463383; N: 8760875. Zona 18S), en la provincia de Chanchamayo, departamento de Junín. A través de una visita al área se confirmó la disponibilidad de un área para la potencial instalación.

Con base en el informe de Zonificación Ecológica Económica publicada en el 2015, por el Ministerio del Ambiente (MINAM), se identificó a Junín como un departamento con una vasta diversidad de ecosistemas, evidenciada en la variedad de su flora y fauna. Sin embargo, el desarrollo de la agricultura no sostenible y la deforestación podrían amenazar negativamente el área, con el riesgo de reducir su potencial de alto y muy alto valor bioecológico. En ese sentido, es importante señalar que el área de estudio se cataloga como una zona de muy alto potencial, implicando su relevancia a nivel nacional, subrayando la importancia de su conservación y protección.

La figura 3 muestra el mapa con la ubicación de la posible área para la implementación del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en Chanchamayo, Junín (coordenadas E:463648; N:8762928). Este lugar se encuentra a una altitud aproximada de 907 msnm al norte del distrito de Vitoc y al sur de San Ramón (Figura 4).

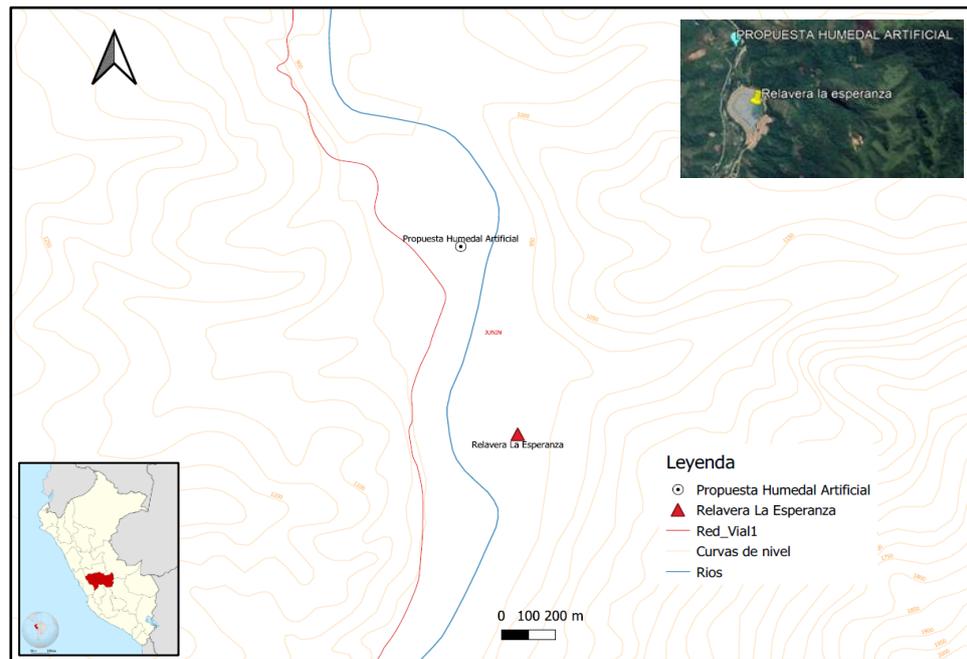


Figura 3. Mapa de la ubicación del área con potencial para la implementación del humedal artificial en Chanchamayo, Junín, Perú (Google Earth).



Figura 4. Imagen in situ de un área con potencial para la implementación del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en Chanchamayo, Junín Perú.

3.2. Caracterización del río Tulumayo

El río Tulumayo, se encuentra ubicado entre los Andes centrales y la Selva Central de Perú, al sur de la ciudad de San Ramón. Este río es parte de la cuenca del río Chanchamayo y tiene su origen a una altitud de aproximadamente 5300 msnm. En la zona media de la cuenca, el río Tulumayo se encauza y recibe agua de numerosos afluentes que drenan principalmente desde el margen derecho del valle. En este segmento, el río discurre entre cotas desde los 2400 a 1300 msnm, presentando un paisaje disturbado y de ceja de selva (Compañía Minera San Ignacio de Morococha SAA, 2017).

Corresponde a un clima templado-lluvioso todo el año con una disminución significativa en otoño e invierno, con periodos secos y muy húmedos donde se registran temperaturas medias diarias alrededor de los 23°C. La temperatura con los valores más bajos en los meses invernales de junio y agosto, y los más elevados en los meses de enero a abril (Compañía Minera San Ignacio de Morococha SAA, 2017).

La precipitación total anual promedio es de 1918 mm, con un incremento significativo entre enero y abril. Las máximas avenidas se presentan de diciembre a abril y las mínimas de mayo a noviembre. El caudal máximo registrado 230,5 m³/s y el mínimo 5,8 m³/s, según los datos de la Compañía Minera San Ignacio de Morococha SAA (2017).

La caracterización del río Tulumayo incluyó la evaluación de las concentraciones de cadmio y cromo en el agua. La toma de muestras se realizó utilizando como referencia la relavera La Esperanza (Coordenadas: E: 463858; N: 8762189), el muestreo se describirá en el siguiente ítem.

3.3. Muestreo de Agua

El muestreo de agua se llevó a cabo de acuerdo con la metodología establecida por la Autoridad Nacional del Agua (2016). Este proceso comenzó con la identificación de los puntos de monitoreo. Se seleccionó un (1) punto río arriba y un (1) punto río abajo, situados a una distancia aproximada de cincuenta a cien metros de la relavera La Esperanza. Se realizaron tres (3) repeticiones por cada punto de muestreo.

La muestra de agua tomada río arriba permitió conocer las condiciones naturales del río Tulumayo, antes de cualquier posible contaminación por la relavera.

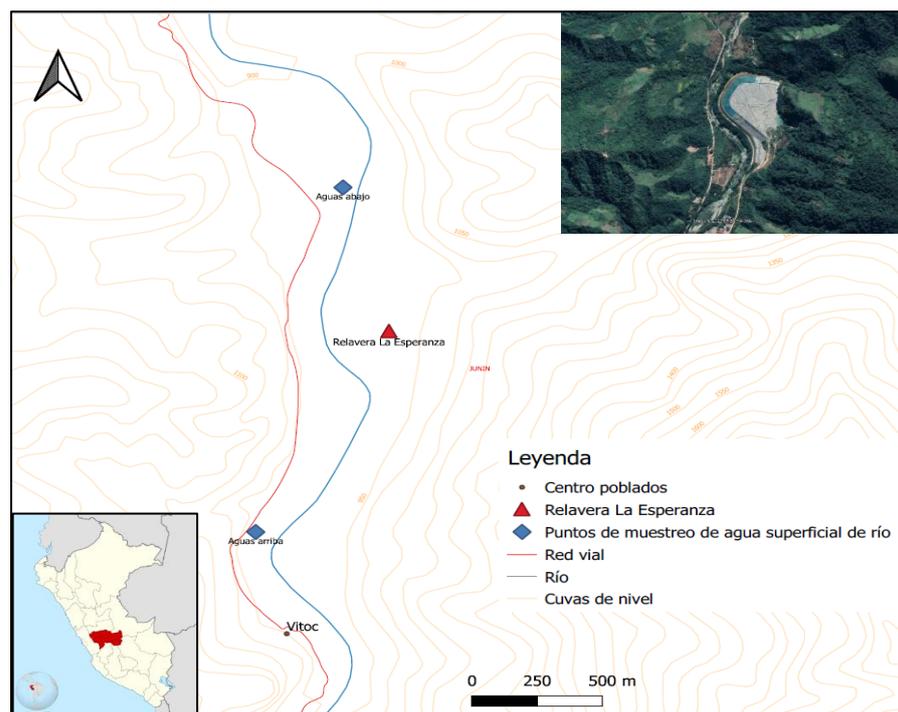


Figura 5. Ubicación de los puntos de muestreo de agua, arriba y abajo en el río Tulumayo con relación a la relavera La Esperanza Chanchamayo, Junín

Una vez localizados los puntos de muestreo, se procedió con la extracción de 500 ml de agua por cada repetición, utilizando frascos

estériles de boca ancha. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio SGS Perú, el cual cuenta con la certificación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL), para la respectiva evaluación de las concentraciones de cromo y cadmio. Los resultados obtenidos fueron contrastados con los estándares legales vigentes, tal como lo establece el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establece disposiciones complementarias pertinentes.

4. Identificar el caudal de agua requerido para el desarrollo de actividades en la población del distrito de San Ramón

El cálculo de las dimensiones del humedal artificial se realizó para satisfacer dos necesidades claves: el consumo de agua por parte de la población y la demanda hídrica necesaria para el riego agrícola de 2 hectáreas donde se podrían cultivar naranjas.

Para ello, se realizó una proyección de las dimensiones del humedal artificial con porcentajes de remoción del 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90%, para 100, 200, 500, 1000, 5000, 10000, 20000, 25000 y 50000 personas, teniendo en cuenta que la concentración final buscada de cadmio es de 0,003 mg. l⁻¹ y de cromo es de 0,05 mg. l⁻¹ y teniendo un espacio límite de 800 m² aproximadamente.

A continuación, se detallan las fórmulas usadas para el cálculo de las dimensiones del humedal artificial.

4.1. Cálculo del caudal agrícola

El cálculo del caudal necesario para la agricultura se realizó teniendo en cuenta la dotación de agua requerida para el cultivo de naranja, considerando el volumen de agua necesario expresado en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Para determinar el caudal promedio, se multiplicó la demanda hídrica por las hectáreas a cultivar. Finalmente, se llevaron a cabo las conversiones pertinentes para expresar el caudal en $\text{m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$.

$$Q_p = \frac{\text{Demanda hídrica} \times \text{ha}}{365}$$

Q_p : Caudal promedio ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

Demanda hídrica: Demanda hídrica del naranjo ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$)

ha: Hectárea (ha)

5. Cálculo de dimensiones de un humedal artificial de flujo subsuperficial usando la especie *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. (pájaro bobo) y biochar para la remoción de cadmio (Cd) y cromo (Cr) a fin de cumplir con el Estándar de Calidad de Agua (ECA) del Perú

5.1. Cálculo del área superficial del humedal artificial

Para la determinación del área superficial, se evaluaron dos modelos con el objetivo de lograr la mayor remoción de contaminantes ocupando el espacio mínimo posible. Esto significó realizar una evaluación de cada método para determinar una mayor eficiencia.

a. Modelo para remoción de fósforo

De acuerdo con lo descrito por Crites et al. (2014) el diseño de un humedal de flujo subsuperficial para la remoción de fósforo, que demuestra alta eficiencia en la remoción de metales pesados, es similar al de un flujo superficial. Por ello, se realizó la evaluación de este método para la remoción tanto de cadmio como de cromo, considerando que se dispone de un caudal promedio destinado para el uso poblacional y el uso agrícola.

Además, utilizando la información establecida en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA Agua) para uso poblacional, se identificó el valor objetivo de la calidad del agua. En ese contexto, se realizó el cálculo del área superficial considerando diferentes rangos de porcentaje de remoción, aplicando las siguientes fórmulas:

$$A_s = \frac{b \cdot Q \left[\ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \right]}{2.74}$$

Donde:

Ce: Concentración de fósforo en efluente (mg. l⁻¹)

Co: Concentración de fósforo en el afluente (mg. l⁻¹)

As: Área superficial del humedal (m²)

b: factor de conversión 100 (cm.m⁻¹)

Q: Caudal de diseño (m³. d⁻¹)

2,74: Constante de primer orden para estimar la remoción de fósforo.

Una vez identificada el área superficial del humedal y teniendo en cuenta que la proyección realizada será de forma rectangular, se consideró una relación de 2:1 determinando así el largo y ancho del humedal.

Posterior a la identificación de los valores correspondientes al largo y ancho, se procedió a realizar el cálculo del área transversal usando la siguiente fórmula:

$$A = w * d$$

Donde:

A: Área transversal (m²)

w: ancho (m)

d: profundidad (m)

Luego de realizar la determinación del área superficial y las dimensiones correspondientes, en función al cálculo de la longitud y ancho se determinó la capacidad del diseño para conducir el flujo a través de la humedad (Environmental Protection Agency, 1993), usando la ecuación de Darcy:

$$Q = Ks \times A \times S$$

Donde:

Q: Flujo capaz de pasar a través del humedal (m³. d⁻¹)

K: Conductividad hidráulica de una unidad de área de la estructura (mm)

S: Gradiente hidráulica de la superficie del agua en el sistema (d . l⁻¹)

A: Área transversal del humedal (m^2)

Finalmente, a fin de comprobar la mayor eficiencia, se realizó el cálculo del tiempo de retención hidráulica, lo cual nos permitió calcular el número de día que se necesitan para lograr la remoción del cadmio y/o cromo al porcentaje estimado, ello se hizo a través de la siguiente fórmula:

$$t = \frac{(V \times n)}{Q}$$

Donde:

t: Tiempo de retención hidráulico (d)

n: Porosidad del sistema (fracción decimal)

Q: Caudal promedio en el sistema ($m^3 \cdot d^{-1}$)

b. Modelo para remoción de nitrógeno

Se analizó la aplicación de la fórmula para el diseño de un humedal de flujo subsuperficial para la remoción de nitrógeno, con la finalidad de proyectar la remoción de cadmio y cromo.

Como primer paso se determinó la constante de nitrificación utilizando la siguiente fórmula:

$$K_{NH} = 0.01854 + 0.3922 \times rZ^{26077}$$

Donde:

KNH: Constante de nitrificación a 20°C, d-1

rz: Porcentaje de profundidad ocupado por la zona de las raíces, fracción decimal (0 a 1).

Tras la identificación del valor correspondiente a la constante de nitrificación se procedió a determinar la constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura. Este paso fue esencial para evaluar la remoción del nitrógeno (en este caso, para efectos del estudio la atención estaba centrada en el cadmio y cromo), a través de la nitrificación. Para ello, se implementó la siguiente fórmula:

$$K_T = K_{NH} \times 1.048^{(T-20)}$$

Donde:

KT: Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d-1)

KNH: Constante de nitrificación a 20°C, d-1

T: temperatura

A continuación, a través de la siguiente fórmula, se realizaron los cálculos para la determinación del área superficial del humedal:

$$A_s = \frac{Q \times (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T \times y \times n}$$

Donde:

As: Área superficial del humedal (m²)

Ce: Concentración de amoníaco en el efluente (mg. l⁻¹)

Co: Concentración de amoníaco en el afluente (mg. l^{-1})

KT: Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura
(d^{-1})

y: Profundidad del agua en el humedal (m)

t: Tiempo de retención hidráulico (d)

n: Porosidad del sistema (fracción decimal)

Q: Caudal promedio en el sistema ($\text{m}^3. \text{d}^{-1}$)

Tras determinar el área superficial y sus respectivas dimensiones, considerando que los cálculos de longitud y ancho son similares a los usados en la fórmula para la remoción de fósforo, se procedió a realizar los cálculos para determinar la capacidad del diseño propuesto. Para ello se usó la ecuación de Darcy, y a su vez se calculó el tiempo de retención correspondiente.

5.2. Implementación de filtro de biochar

En el diseño del humedal, previo al ingreso del agua al humedal artificial de flujo subsuperficial, se planifica la implementación de un filtro de biochar (biocarbón vegetal) con un grosor de 10 cm aproximadamente. Este filtro, adaptado al espesor del caudal, se estima que pueda remover aproximadamente el 30% de los contaminantes (Gómez y Quevedo, 2020). Con este enfoque, se proyecta mejorar la calidad del agua aplicando dicho filtro, teniendo como objetivo de esta estrategia el de optimizar la eficiencia del sistema.

5.3. Elaboración de la proyección en 3D del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal

En base a las dimensiones calculadas, con la ayuda de la empresa Innovative Architecture in Nature, se elaboró una proyección en 3D del humedal. Se empleó AutoCad para el levantamiento del entorno y del humedal artificial y para el modelado del entorno se utilizó Revit y Sketchup. Además, se potenció la representación visual del proyecto mediante la renderización de imágenes con el programa Lumion.

De este modo, se obtuvo una visualización más detallada y precisa del proyecto.

V. RESULTADOS

1. Estado de la contaminación minera durante los años 2018, 2019 y 2020 de la selva de Perú en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín y Huánuco

Se generaron dos mapas: el primer mapa (Figura 6) muestra la ubicación de las concesiones mineras metálica por departamento a nivel nacional y las ecorregiones. El segundo (Figura 7) muestra la ubicación de la minería informal, pasivos ambientales mineros (PAM) y denuncias ambientales en los departamentos de estudio.

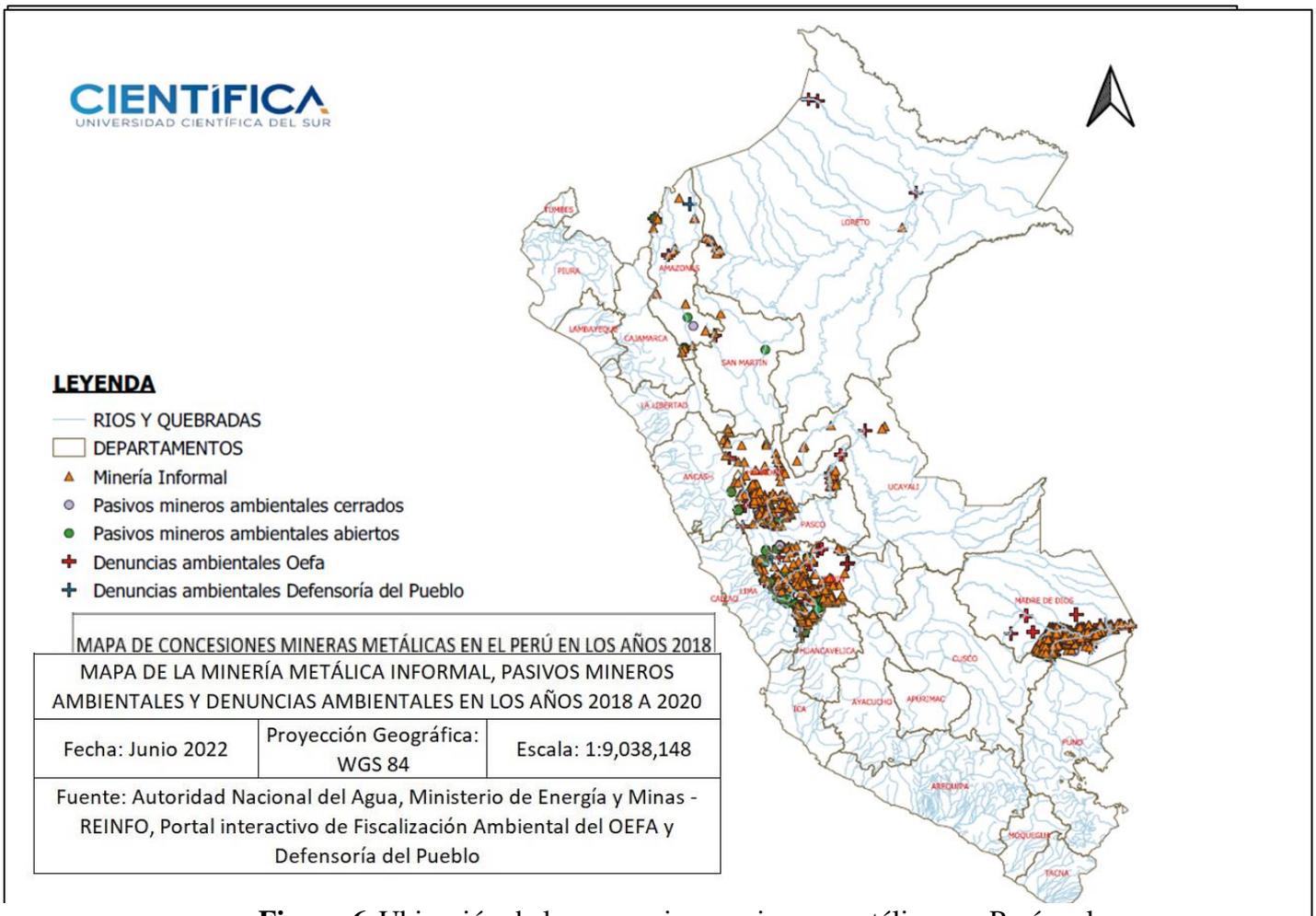


Figura 6. Ubicación de las concesiones mineras metálicas en Perú en los años 2018 a 2020

mineros y denuncias ambientales en los años 2018 a 2020

Se registraron un total de 6300 concesiones mineras metálicas, 2102 minas en proceso de formalización, 1201 pasivos ambientales mineros y 74 denuncias ambientales en los siete departamentos examinados (Figura 7).

Se detectaron zonas críticas en el departamento de Madre de Dios, especialmente en los distritos de Inambari, Laberinto, Tambopata y Huepetuhe. Asimismo, en el departamento de Huánuco, destacó el distrito de Huacar, en Junín, los distritos de San Ramón y Vitoc y finalmente en el departamento de Amazonas, se identificaron problemas en los distritos de Balsas y El Cenepa (Figura 7).

En el anexo 1 se muestra con detalle el análisis de la actividad minera e impacto ambiental por cada departamento estudiado.

Adicionalmente, se evaluó el estado de los pasivos ambientales mineros por departamento, obteniendo la tabla 3 en donde se identificó que el departamento Junín presentó el mayor número de pasivos ambientales abiertos hasta el 2020 teniendo un total de 665.

Tabla 3. Número de pasivos ambientales mineros metálicos abiertos y cerrados por departamento

DEPARTAMENTO	ESTADO DE PASIVO MINERO AMBIENTAL	
	Abierto	Cerrado
Amazonas	156	1

Huánuco	295	39
Junín	665	22
Madre de Dios	0	22
San Martín	1	0
Total	1117	84

Finalmente, se evidenció que los departamentos de Junín y Madre de Dios son los más afectados por la minería en la selva peruana (Figura 8).

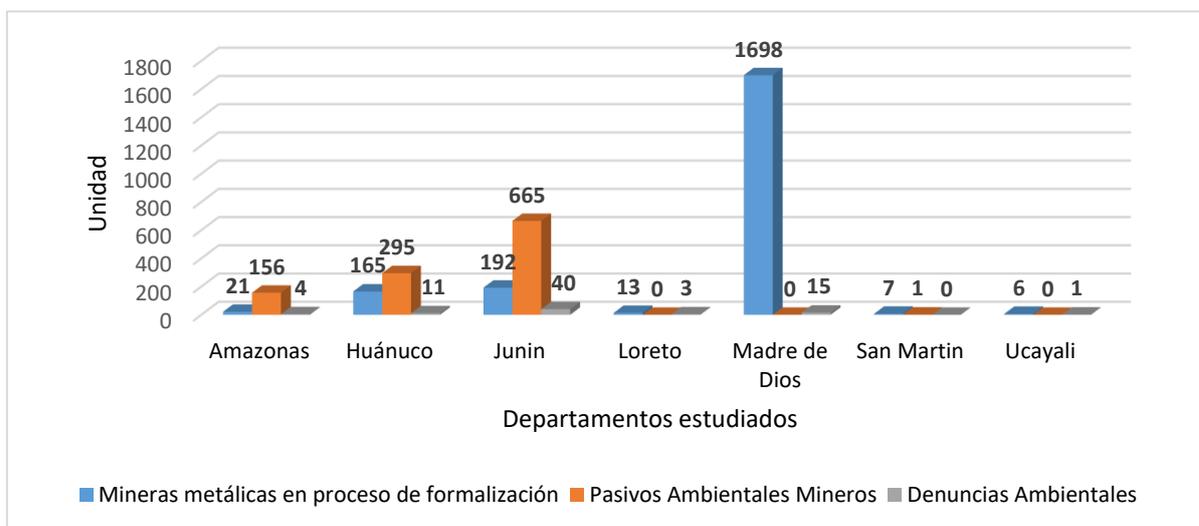


Figura 8. Número de mineras metálicas en proceso de formalización, pasivos y denuncias ambientales por departamento

2. Propuesta de la implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial usando *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. combinado con biochar para la remoción de cromo y cadmio del río Tulumayo

2.1. Resultados del muestreo de agua superficial del río Tulumayo

A continuación, se presentan los resultados de la concentración de cadmio (Cd) y cromo (Cr) presentes en el río Tulumayo tomando como punto de referencia la relavera La Esperanza y comparando con el ECA

Agua (Tabla 4). Los resultados del análisis de agua del río Tulumayo cumplen con el ECA Agua, indicando que el agua no estaría contaminada.

Tabla 4. Resultados de las concentraciones de cadmio (Cd) y cromo (Cr) del muestreo de agua superficial del río Tulumayo

PARÁMETRO	ECA (N° 004-2017-MINAM)		CÓDIGO Y UBICACIÓN DE COORDENADAS UTM WGS84					
	Categoría 1: Poblacional y Recreacional	Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	AGUAS ABAJO DE LA RELAVERA LA ESPERANZA			AGUAS ARRIBA DE LA RELAVERA LA ESPERANZA		
			AG-01-AB	AG-02-AB	AG-03-AB	AG-01-AR	AG-02-AR	AG-03-AR
	Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Agua para riego no restringido	N:8762862 E:463681			N:8761245 E:463348		
Cadmio (mg/l)	0,003	0,01	<0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003
Cromo (mg/l)	0,05	0,1	0.0004	<0.00003	<0.00003	0.0008	0.0003	<0.00003

2.2. *Análisis de propuesta del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal*

En un área de 2 hectáreas se calculó la demanda hídrica de la naranja, alcanzando una demanda de $9750 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ y un caudal promedio de $53,52 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Con esa información, se calculó el área superficial del humedal artificial usando el modelo de fósforo y se obtuvo como resultado que el área necesaria para la remoción de cadmio y cromo era de $1351,50 \text{ m}^2$, lo cual hace inviable la implementación del humedal en el espacio previsto. Por lo tanto, se proyectó el humedal artificial considerando solo el consumo de la población.

A continuación, con los resultados de las proyecciones del anexo 2 y 3 se generó las siguientes gráficas:

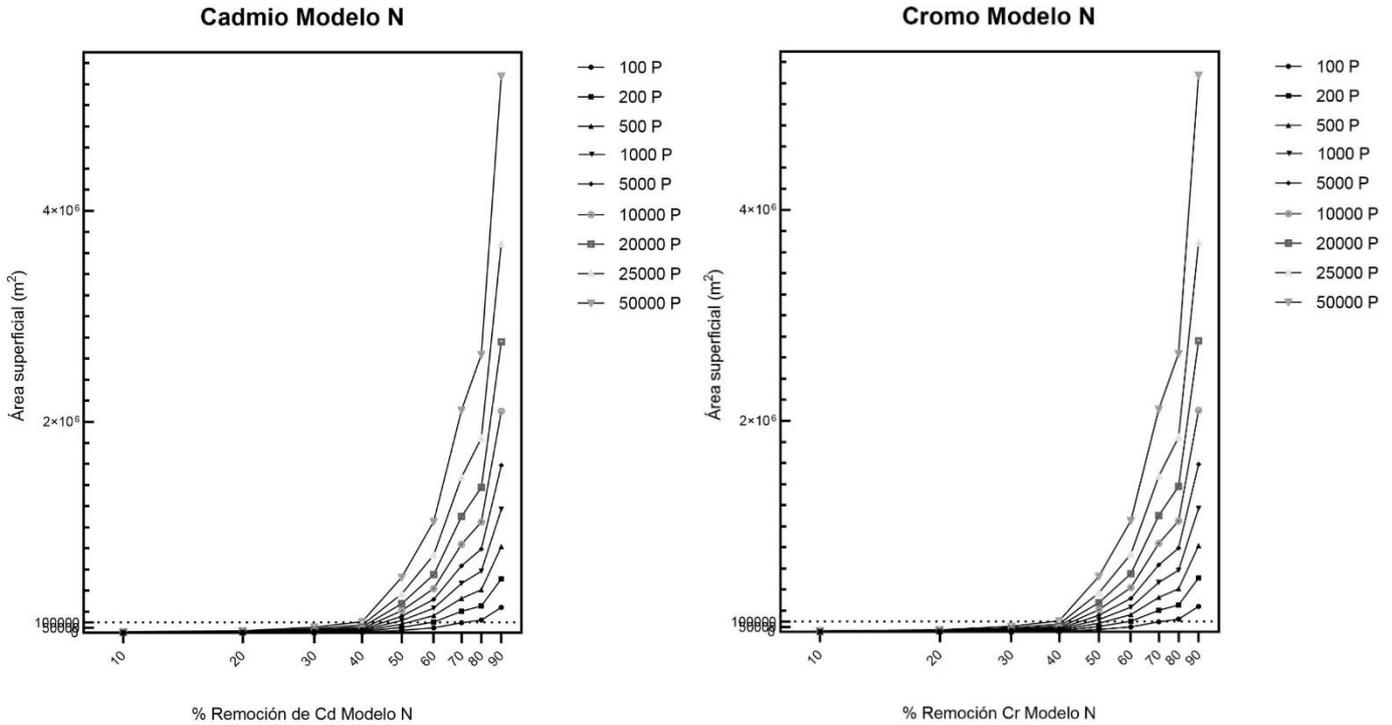


Figura 9. Comparación del área superficial del humedal artificial con el porcentaje de remoción de cadmio (Cd) y cromo (Cr) usando el modelo de nitrógeno

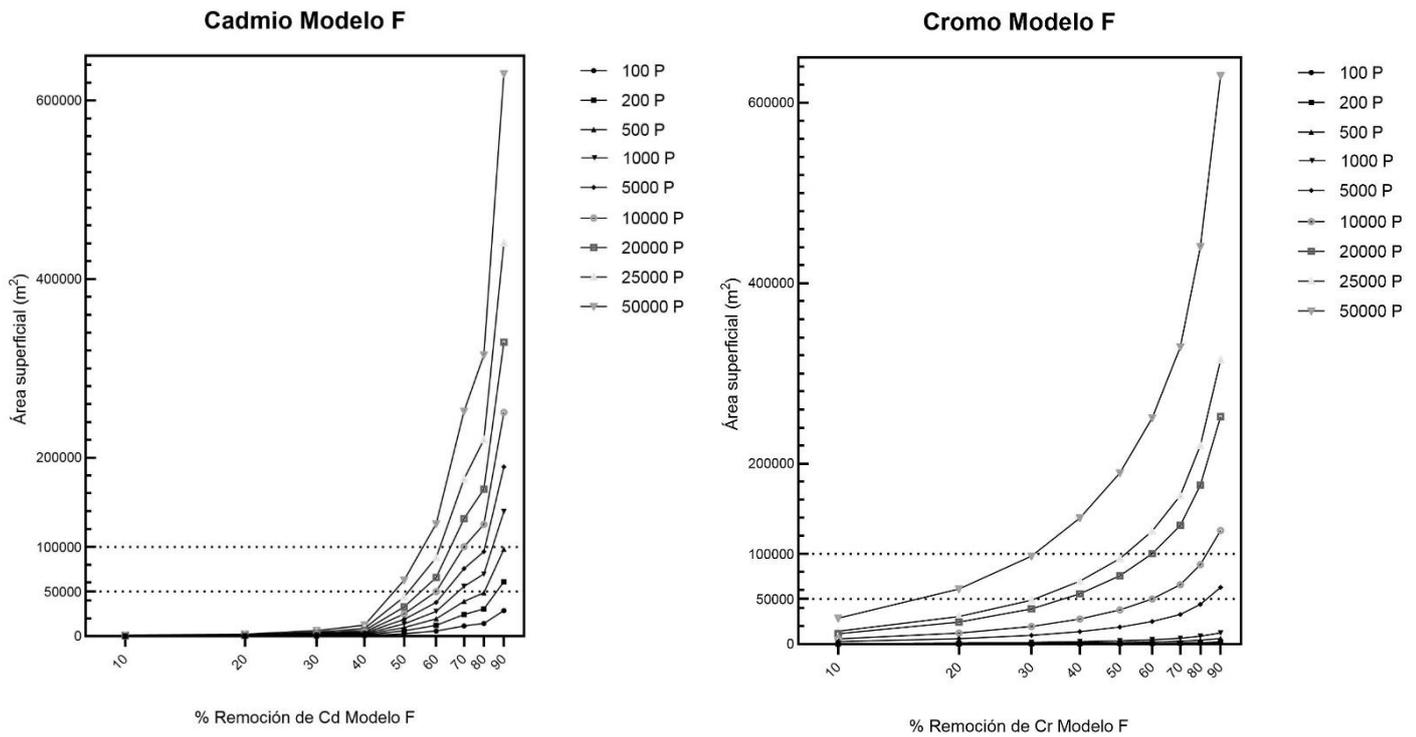


Figura 10. Comparación del área superficial del humedal artificial con el porcentaje de remoción de cadmio (Cd) y cromo (Cr) usando el modelo de fósforo

El modelo de fósforo para la remoción de cadmio y cromo mostró una mayor eficacia, siendo 200 personas la población ideal para ser abastecida por este humedal artificial.

Así mismo, de acuerdo con lo analizado en las figuras 1 y 2, 50% de cadmio y cromo se podría remover a través de la implementación del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

A continuación, en la tabla 5 y 6 se presentan los parámetros elegidos para el diseño del humedal artificial y las dimensiones resultantes de la proyección.

Tabla 5. Parámetros para el cálculo del humedal artificial

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Concentración Inicial	0,006	mg.l ⁻¹
Concentración Final	0,003	mg.l ⁻¹
% de remoción	50	%
Caudal (Q)	30	m ³ .d ⁻¹
Porosidad	0,35	%
Pendiente	0,01	%
Población	200	habitantes
Dotación	150	l.hab ⁻¹ .d ⁻¹

Tabla 6. Dimensiones del humedal artificial

PARÁMETRO	FÓRMULA	VALOR	UNIDAD
Constante de primer orden	-	2,74	cm.d ⁻¹
Área superficial	$A_s = (b \cdot Q [\ln(C_o/C_e)]) / 2.74$	758,92	m ²
Largo	2:1	38,96	m
Ancho		19,42	m
Profundidad	-	0,8	m
Área de la sección transversal perpendicular al flujo	$A = w \cdot d$	15,58	m ²
Tiempo de retención hidráulica	$t = ((V \times n) / Q)$	7	días
Capacidad del diseño	$Q = K_s \times A \times S$	779,19	m ³ .d ⁻¹

De forma complementaria, se muestra el costo total aproximado del humedal artificial.

Tabla 7. Resumen de presupuesto total aproximado del humedal artificial en soles

Resumen de presupuestos	
Presupuestos	Soles
Trabajos preliminares	241.040,81
Mano de obra	135.450,00
Materiales de construcción	171.142,09
Equipos	89.304,00
TOTAL	636.936,90

Seguidamente, se muestran la proyección en 3D del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal desde diferentes ángulos.

En la figura 11 se visualiza el humedal con y sin plantas desde una vista aérea. Se puede apreciar la tubería de ingreso del agua del río y el reservorio de agua junto al humedal (recuadro blanco). En la figura 12 se observa el humedal artificial con corte longitudinal en donde se aprecia la geomembrana, el material granulado, las raíces de las plantas, la sección de filtro de biochar y la caja de control de agua de salida para el reservorio.

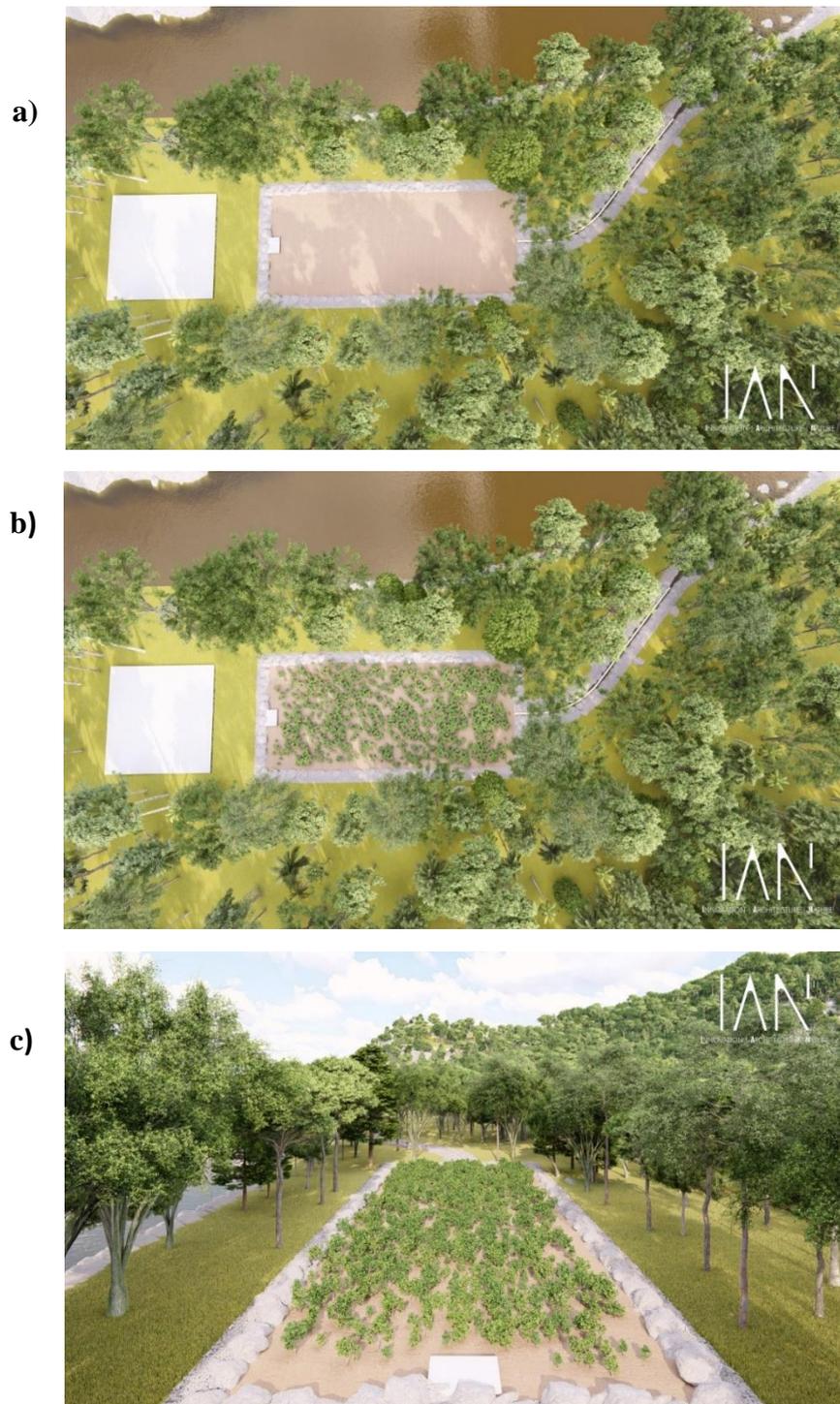


Figura 11. Proyección en 3D de la propuesta de diseño del humedal artificial subsuperficial a) vista aérea sin plantas b) vista aérea con plantas c) vista lateral con plantas

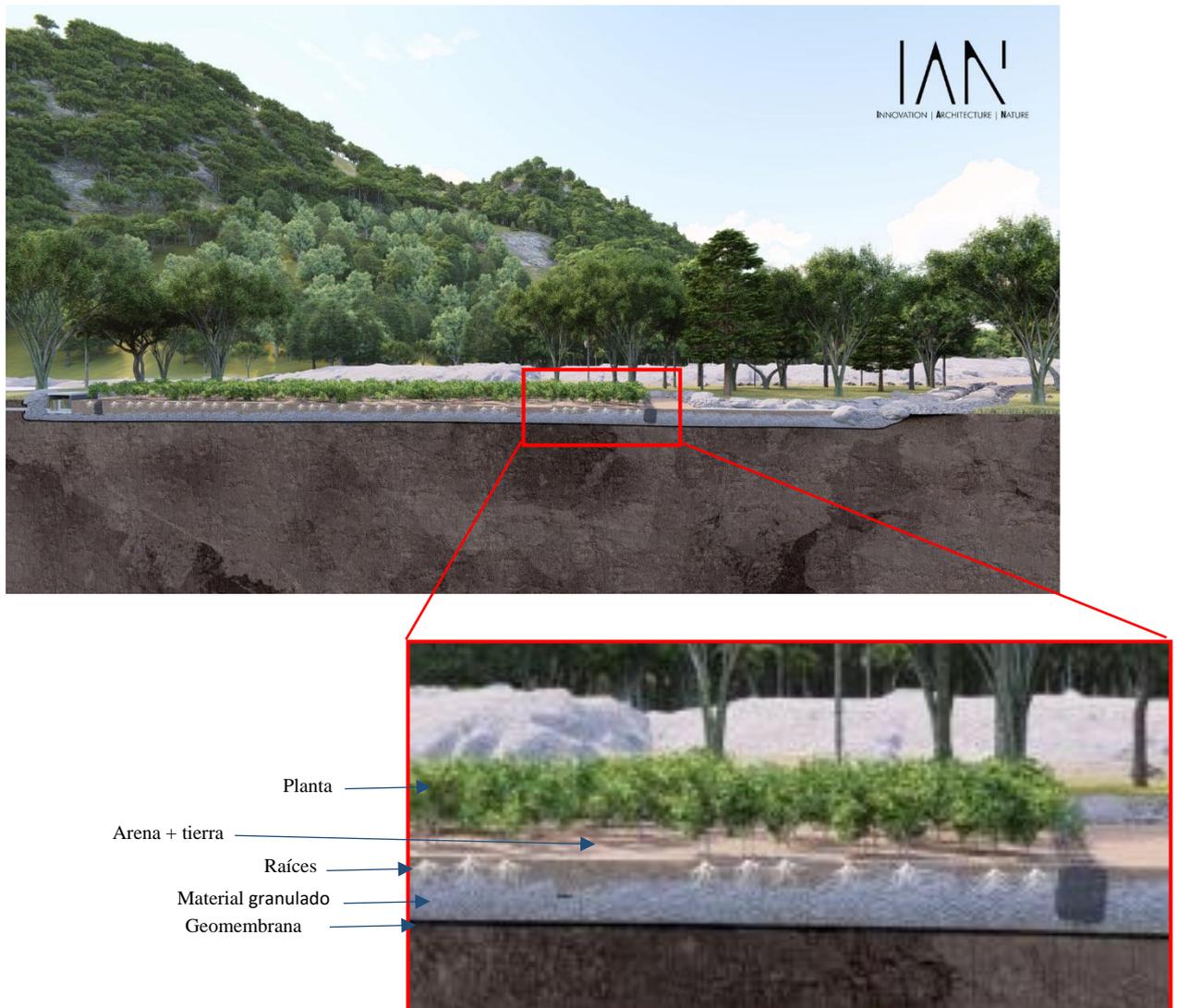


Figura 12. Proyección en 3D de la propuesta de diseño del humedal artificial subsuperficial horizontal en corte longitudinal

VI. DISCUSIÓN

1. Análisis del estado de la contaminación minera durante los años 2018, 2019 y 2020 de la selva de Perú en los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Junín y Huánuco

El análisis de la actividad minera metálica en Perú, en particular en las regiones de la selva del país, evidencia una serie de desafíos en torno a la gestión y control de la contaminación minera. Los resultados analizados en los siete departamentos examinados sugieren una actividad minera intensiva que puede tener graves impactos en los ecosistemas acuáticos y terrestres locales. Concordando con diversos estudios también se ha demostrado que la minería metálica puede causar la liberación de contaminantes como metales pesados en los cuerpos de agua y en suelo, afectando negativamente el ecosistema (Chukwu y Oji, 2018; Perez y Betancur, 2016) y puede causar potenciales riesgos en el suministro de agua de calidad para las poblaciones aledañas. Por otro lado, los métodos de extracción de minerales en la minería ilegal e informal sugieren un potencial aumento en la liberación de contaminantes en los ecosistemas acuáticos cercanos, esta situación dificulta la aplicación de buenas prácticas mineras y la mitigación de la contaminación (Garzon y Rodriguez, 2015). Así mismo, diversos estudios indican que la minería informal e ilegal son actividades que hasta el momento están siendo llevadas a cabo sin consecuencias. Estos coinciden en que, los departamentos con presencia de estas actividades son: Amazonas (Cordillera del Cóndor, Río Marañón, Río Cenepa, Río Santiago), Huánuco (Churubamba, Puerto Inca y Pachitea Reserva Comunal El Sira), Junín (Ulcumayu, Carhuamayo, Jauja Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba), Loreto (Cuencas de los ríos

Marañón, Napo) y Madre de Dios (Curara, Nanay, Putumayo, Tambopata, Manu) entre otros (Díaz y Fernández, 2018), siendo este último el más afectado. Esto significa un potencial riesgo para la biodiversidad, la conservación y la restauración de los bosques de la Amazonía peruana.

Varios autores coinciden que entre los metales de mayor importancia ecotoxicológica sobresale el mercurio ya que cuenta con la capacidad de bioacumulación y biomagnificación en el medio ambiente, permitiendo poseer una amplia movilidad y desplazarse entre la superficie terrestre y la atmósfera, así como ingresar a la cadena alimentaria de los seres vivos (Díaz y Fernández, 2018). Sin embargo, mediante un análisis de muestra de agua tomada de un río impactado por minería aurífera ilegal, realizado por Fernando Salas (2014) también identificó concentraciones de Arsénico, Cobre, Cromo, Plomo y Zinc, que superan los límites máximos permisibles, mientras que metales como Cadmio y Mercurio se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles. La exposición a estas concentraciones de metales, por encima de una concentración umbral, puede resultar sumamente nociva, según el autor.

Reportes anteriores de un sobrevuelo que realizó Mongabay Latam, evidenció como la minería ilegal sigue creciendo y se ha reportado que entre los años 2009-2017 hubo un 67,5% de pérdida de bosques (Velasquez, 2020), asimismo, el crecimiento de la minería informal también se puede medir en hectáreas deforestadas: las cifras del Ministerio del Ambiente indican que mientras en el año 2000 se deforestaron 6.254 hectáreas debido a la minería, para el año 2011 esta cifra aumentó a 32.750 hectáreas, y actualmente supera las 50.000 hectáreas (De Echave, 2016), por ello los problemas de los efectos negativos de la minería demandan el diseño de soluciones sostenibles y de

acceso a los gobiernos locales para poder restaurar o mitigar los impactos negativos en sus jurisdicciones donde la propuesta de esta investigación cobra relevancia.

Por otro lado, se ha reportado que los pasivos ambientales mineros a menudo contienen altas concentraciones de elementos tóxicos, cuya movilidad y dispersión pueden representar un peligro ambiental para los suelos, el agua, los ecosistemas y las personas durante mucho tiempo especialmente cuando no hay una restauración o rehabilitación de los sitios (Arranz et al., 2016). Idealmente, los planes modernos de cierre y rehabilitación deberían eliminar dichos riesgos, pero existen muchos casos de sitios mineros abandonados en los que la rehabilitación fue incompleta o descuidada (Arranz et al., 2016).

Las iniciativas de restauración de suelos degradados por actividad minera de la amazonía en Perú son, mayormente, por parte de ONGs. World Wildlife Fund In y Wake Forest University implementaron el programa “Restauración de Paisajes Degradados por la Extracción Minera Aurífera” en donde realizaban reforestación y restauración de suelos degradados en Madre de Dios. En sus resultados evaluaron el primer año de supervivencia de los plantones en campo obteniendo más del 75% de supervivencia para las especies *Syzygium malaccense* “Poma rosa”, *Flemingia macrophylla* “Flemingia”, *Copaifera* sp., “Copaiba” y *Tithonia diversiflora* “girasol” (World Wildlife Fund Inc [WWF], 2019). Asimismo, en el distrito de Huapetue, Madre de Dios, se examinó la condición de restauración en zonas afectadas por la actividad minera aurífera durante un lapsus de seis años. El estudio registró una densidad de 2 305 individuos por hectárea, con una diversidad compuesta por 77 especies y 29 familias. Las familias con mayor relevancia ecológica fueron Fabaceae

(16.52%), Malvaceae (14.84%) y Asteraceae (12.51%). Además, se identificó que las especies más abundantes son *Ludwigia* sp., *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. y *Piper aduncum*, con 428, 313 y 276 individuos por hectárea respectivamente. La interpretación de la caracterización del análisis edáfico reveló que los niveles nutricionales del suelo se clasifican como bajos a muy bajos, lo que evidencia escasez de elementos disponibles (García, 2021).

En concordancia con nuestra investigación, en el reporte de la Contraloría General de la República: Pasivos Ambientales Mineros en el Perú, se cuantificaron los PAM de los años 2006 hasta el 2020 se identificaron los departamentos con PAM de muy alto, alto, medio y bajo riesgo, teniendo como resultado que el departamento de Junín cuenta con 22 pasivos ambientales mineros de muy alto riesgo, 45 de alto riesgo y 669 PAM en total. Por otro lado, en el departamento Huánuco se identificó un pasivo ambiental minero de muy alto riesgo, 13 de alto riesgo y 295 PAM en total, en el departamento de Amazonas se identificó 11 pasivos ambientales mineros de bajo riesgo y 156 PAM en total, y finalmente, en el departamento de San Martín se identificó solo un pasivo ambiental minero de riesgo medio (Castillo et al., 2021). Los resultados del presente estudio cuentan con una notable coincidencia con los reportados por la Contraloría; no obstante, se observa que los departamentos de Loreto, Madre de Dios y Ucayali carecen de PAM, posiblemente debido a la predominancia de la minería ilegal e informal en dichos departamentos.

2. **Propuesta de la implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial usando *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. combinado con biochar para la remoción de cromo y cadmio del río Tulumayo.**

Nur-E-Alam et al. (2020), mencionan que existen diferentes métodos como la electrocoagulación, intercambio iónico y electrodiálisis para la remoción de metales como el cromo los cuales pueden alcanzar la remoción de este metal hasta en un 90%, no obstante, estos métodos suelen tener un alto costo de implementación. Sin embargo, conforme a lo señalado por Vymazal (2011) y Lopez (2015), los humedales artificiales destacan por su capacidad para tratar aguas contaminadas. Estos sistemas, eficientes en remover metales pesados, representan una alternativa sostenible a métodos más costosos.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 5, respecto a los niveles de cromo y cadmio obtenidos durante el muestreo de agua, el proyecto es viable proponiendo una remoción del 50% de cromo y cadmio a través de la implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial. Sin embargo, de acuerdo con lo descrito por Tilley et. al (2018) las dimensiones y condiciones del humedal dependerán del objetivo de tratamiento, la calidad y cantidad de afluente lo cual puede significar la necesidad de contar con pretratamiento que incluya rejillas, desarenador e incluso un sedimentador para optimizar el rendimiento del tratamiento lo cual permita alcanzar los niveles de calidad requeridos para usar las aguas tratadas.

Así mismo, la selección de especies para la fitorremediación depende del contexto y el objetivo específico del proyecto. Estudios sugieren una preferencia por especies nativas debido a su capacidad para incorporarse sin alterar los ecosistemas locales (Azizi et al., 2023). Las especies nativas,

adaptadas a las condiciones locales pueden ser más eficientes en la remoción de contaminantes y a su vez son menos propensas a convertirse en invasoras (Matanzas et al., 2021). Sin embargo, en ciertas ocasiones, las especies exóticas pueden ser útiles, especialmente si poseen características específicas como por ejemplo una mayor tasa de crecimiento o una mayor capacidad de acumulación de contaminantes (Davis et al., 2023).

De acuerdo con los resultados obtenidos, el muestreo de agua superficial de río sugiere una inactividad en la relavera durante la toma de muestras lo cual pudo haber influenciado en los bajos niveles de contaminación detectados. Sin embargo, Varol (2011) habla sobre la variabilidad temporal espacial, resaltando que la concentración de metales pesados en ríos también puede variar significativamente no solo por la actividad humana, sino también con el tiempo y espacio debió a factores como las precipitaciones y los ciclos estacionales. Esto significa que los puntos muestreados pueden no reflejar la verdadera carga de acumulación a lo largo del tiempo.

VII. CONCLUSIONES

- En los departamentos de la selva peruana, Junín, Huánuco y Amazonas, se ha identificado una mayor afectación por la contaminación minera, evidenciada por un elevado número de pasivos ambientales mineros. El departamento Madre de Dios también muestra una notable afectación, destacándose por tener una mayor cantidad de concesiones mineras en proceso de formalización.
- Los humedales artificiales han demostrado ser efectivos en la remoción de diversos contaminantes del agua, incluyendo metales pesados. El uso de la

especie *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. sería una alternativa sostenible para la depuración de aguas contaminadas con cromo y cadmio en la selva peruana.

- La aplicación de biochar, producido a partir de la biomasa de humedales como la *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav, representa una estrategia eficiente para la remediación ambiental. Este enfoque no solo facilita la remoción de metales como el cadmio y cromo en el río Tulumayo, sino que además promueve la circularización de residuos vegetales
- La implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal utilizando *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav, y biochar derivado de su biomasa, representa una alternativa integrada y sostenible para la remoción de cadmio y cromo en el río Tulumayo. Esta propuesta no solo aborda la remoción de metales pesados, sino que además valoriza los residuos generados, añadiendo un valor adicional al sistema.

VIII. RECOMENDACIONES

- Mejorar el acceso a la información relacionada con la minería ilegal, artesanal y pequeña minería, unificando los datos en un único portal. Esto facilitaría la consulta y el análisis de información, que actualmente requiere acudir a diversas fuentes como los Gobiernos Regionales y el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
- Incorporar la información correspondiente a minería ilegal, informal y artesanal en el Servicio Web Map Service (WMS), parte de la Información de Datos Espaciales del Perú y el Nodo Central de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (IDEP). Esto mejoraría la visibilidad y el entendimiento de la distribución y el impacto de las actividades mineras.

- Brindar el libre acceso a la descarga de información sobre minería ilegal, informal y artesanal en GEOCATMIN, ya que a la fecha ofrece una visualización limitada y no permite el acceso a archivos *shapefile*, lo cual dificulta el análisis y la investigación detallada.
- Dado que el espacio propuesto para la implementación del humedal artificial es propiedad privada, se recomienda que la municipalidad del distrito de Vitoc realice las gestiones correspondientes para facilitar la implementación.
- Es fundamental educar a la población sobre la importancia de los humedales y como estos contribuyen al cuidado y bienestar del ecosistema. Esto no solo generaría apoyo para el proyecto, sino que además contribuiría en la promoción de prácticas sostenibles.
- Se recomienda, en caso de implementar la propuesta del humedal, establecer un programa de monitoreo continuo de la calidad del agua en el Rio Tulumayo, tanto antes como después de la implementación. Esto permitirá evaluar la efectividad del humedal en la remoción de cromo y cadmio.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, F., Yusoff, M. (2019). Impacts of suspended sediment and metal pollution from mining activities on riverine fish population - a review. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05137-7>.
- Arranz, J., Rodríguez, V., Alberruche del Campo, E., Vadillo, L., Fernández, F., Reyes, J., Rodríguez, R. (2016). A methodology for ranking potential pollution caused by abandoned mining wastes: application to sulfide mine tailings in Mazarrón (Southeast Spain). *Environ Earth Sci*. doi 10.1007/s12665-016-5495-7.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA).
https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf
- Azizi, M., Faz, A., Zornoza, R., Martinez-Martinez, S., Acosta, J. (2023) Phytoremediation Potential of Native Plant Species in Mine Soils Polluted by Metal(loid)s and Rare Earth Elements. *Plants* 12(1219).
<https://doi.org/10.3390/plants12061219>
- Biswal, B., Balasubramanian, R. (2022). Constructed Wetlands for Reclamation and Reuse of Wastewater and Urban Stormwater: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 10(836289). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.836289>
- Castillo, L., Atalaya, C., Paredes, U., Encalada, M., Zamora, J., Cuadros, M. (2021). *Pasivos ambientales mineros en el Perú: Resultados de la auditoría de desempeño sobre gobernanza para el manejo integral de los PAM*. Documento de Política en Control Gubernamental. Contraloría General de la República. Lima, Perú.

- Chukwu, A., Oji, K. (2018). Assessment of Pb, Zn, As, Ni, Cu, Cr and Cd in Agricultural Soils around Settlements of Abandoned Lead-Zinc Mine in Mkpuma Ekwoku, South-eastern, Nigeria. *JASEM ISSN*, 22(9), 1485-1488. <https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v22i9.21>
- Compañía Minera San Ignacio de Morococha SAA. (2017). *Informe Técnico Sustentatorio: Recrecimiento y Acondicionamiento del Depósito de Relaves*.
- Comisión Nacional del Agua. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Humedales Artificiales*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015b.%20Manual%20Humedales%20Artificiales%2030.pdf
- Cristaldi, A., Oliveri, G., Hea, E., Zuccarello, P., Grasso, A., Copat, C., Ferrante, M. (2017). Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review. *Environmental Technology & Innovation*, 309-326. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2017.08.002>.
- Crites, R., Middlebrooks, J., Bastian, R., & Reed, S. (2014). *Natural Wastewater Treatment Systems*. CRC Press.
- Dammert, A. (2020). La Importancia del sector Minero para el Perú. *Journal of Economics Finance & International Business*, 4(1). doi: <http://dx.doi.org/10.20511/jefib.2020>
- Davis, L., Hidayati, N., Firdaus, A., Talib, C., Rini, D., Juhaeti, T., Syarif, F., Gunawan, I. (2023). Uptake and translocation of lead and cadmium in wild-found plant species from Bekasi and Karawang, West Java, for phytoremediation. *Environ Earth Sci*. doi: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012070>

- De Echave, J. (2016). La minería ilegal en Perú. *Nueva Sociedad*. 263. 132-144.
<https://nuso.org/articulo/la-mineria-ilegal-en-peru-entre-la-informalidad-y-el-delito/>
- Defensoría del Pueblo. (2020, 2 de Octubre). *Informes y Publicaciones*.
https://www.defensoria.gob.pe/categorias_de_documentos/reportes/page/34/
- Díaz, V., Fernández, M. (2018). *Fundamentos básicos para promover de manera sostenible la erradicación de la minería ilegal y formalización de la minería informal desde la teoría de Ronald Coase* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio Dspace.
<http://hdl.handle.net/20.500.12423/1515>
- Dousseau, S., De Souza, I., Mauro De Castro, E., Alves De Alvarenga, A., Alves, E., Pereira, J., Silva, J., Bastos, V. (2014). Caracterización del limbo de *Piper aduncum* L. (Piperaceae): Análisis estructurales, histoquímicos y de sus aceites esenciales. *Gayana. Botánica* 71(1), 147-162.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-66432014000100015
- Environmental Protection Agency. (1993). *Guía para el diseño y construcción para un humedal construido con flujos subsuperficiales*.
- Estrada, I. (2010). *Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio académico de la Universidad Tecnológica de Pereira.
<https://repositorio.utp.edu.co/items/33c98676-cd83-4fa4-8c83-fb312b869f05>

- García, M. *Evaluación del estado de restauración en áreas degradadas por minería aurífera de seis años, distrito de Huepetuhe, Madre de Dios-Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/682>
- Garzon, J., Rodriguez, J. (2015). Gestión ambiental de aguas residuales industriales con mercurio proveniente de la minería aurífera a nivel mundial: Estado del arte. *Universidad y Salud*, 17(1), 132-144. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/usalud/article/view/2403>
- Gersberg, R., Lyon, S., Elkins, B., & Goldman, C. (1984). The removal of Heavy Metals by Artificial Wetlands.
- Gómez, K., Quevedo N. (2020). Evaluación del biochar obtenido por pirólisis del retamo espinoso para remover cromo del agua. [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Repositorio Institucional. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1866/
- Gupta, M., Santana, A., & Espinosa, A. (2011). Monografía de Plantas Medicinales de Panamá . *OEA*, 490.
- Guo, M., Song, W., Tian, J. (2020). Biochar-Facilitated Soil Remediation: Mechanisms and Efficacy Variations. *Frontiers in Environmental Science*, 8(521512). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.521512>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET]. (2020, 27 de Septiembre) *GEOCATMIN*. <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- Instituto Geográfico Nacional [IGN]. (2020, 27 de Septiembre). *Infraestructura Nacional de Datos Geoespaciales Fundamentales del Perú*. <https://www.idep.gob.pe/>

- Kumar Patra, D., Pradhan, C., Kumar Patra, H. (2019). Toxic metal decontamination by phytoremediation approach: Concept, challenges, opportunities and future perspectives. *Environmental Technology & Innovation*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100672>
- Kumar Yadav, K., Gupta, N., Kumar, A., Reece, L., Singh, N., Rezanía, S., Ahmad Khan, S. (2018). Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects. *Ecological Engineering*, 120, 274-298 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.039>.
- Londoño, L., Londoño, P., Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 14(2), 145-153. DOI:10.18684/BSAA(14)145-153
- Lopez, P. (2015). *Depuración de las aguas residuales mediante humedales artificiales*. iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/patricia-lopez-agudo/depuracion-aguas-residuales-mediante-humedales-artificiales>
- Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Kumar, M., Hussain, A., Wang, Q., Li, R., Zhang, Z. (2015). Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126, 111-121 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.023>.
- Mannino, I., Franco, D., Piccioni, E., Favero, L., Mattiuzzo, E., & Zanetto, G. (2008). A Cost-Effectiveness Analysis of Seminatural Wetlands and Activated Sludge Wastewater-Treatment Systems. *Environmental Management*, 41(6), 926-935. <https://dx.doi.org/10.1007/S00267-007-9001-6>

- Matanzas, N., Afif, E., Diaz, T., Gallego, R. (2021). *Phytoremediation Potential of Native Herbaceous Plant Species Growing on a Paradigmatic Brownfield Site*. Springer, 230-290. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05234-9>
- Mendoza, A. (2019). *La minería sigue siendo la primera actividad*. *Correo. diariocorreo.pe*
- Merino, M. (2017). *Mecanismos de remoción de materia orgánica y nutrientes en un sistema de tratamiento pasivo de aguas residuales municipales* [Tesis doctoral, Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del estado de Jalisco, A. C.]. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/422/1/Mar%C3%ADa%20de%20la%20Luz%20Merino%20Sol%C3%ADs.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2020, 27 de Septiembre). *Inventario de Pasivos Ambientales Mineros*. http://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=1&idTitular=5769&idMenu=sub5768&idCateg=961
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2020, 27 de Septiembre). *Registro integral de formalización minera - REINFO*. https://pad.minem.gob.pe/REINFO_WEB/Index.aspx
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Memoria descriptiva. Zonificación ecológica y económica del departamento de Junín a nivel meso y escala 1:100 000*.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias Decreto Supremo N°004-2017-MINAM*.

<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/ds-004-2017-minam.pdf>

Nur-E-Alam., Abu, S., Farid, A., Mafizur, R. (2020). An overview of chromium removal techniques from tannery effluent. *Springer*, 10(205).
<https://doi.org/10.1007/s13201-020-01286-0>

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2013). Informe de cumplimiento de compromisos ambientales, residuos sólidos, medidas de prevención y control; efectuada en la Unidad Minera “San Vicente” de Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.A. Reporte público del informe n° 00002-2013-0efa/ds-cmi rea.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). Cumplimiento de compromisos ambientales residuos sólidos medidas de prevención y control efectuada en la Unidad Minera San Vicente de Compañía Minera San Ignacio de Morococha S.A.A. Available at: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=14116.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2020, 2 de Octubre). *Portal Interactivo de Fiscalización Ambiental del OEFA*.
<https://publico.oefa.gob.pe/Portalfifa/Intervenciones.do?tipo=0>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2021). *El Valor del Agua*. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/es>.

Perez, M., Betancur, A. (2016). Impactos ocasionados por el desarrollo de la actividad minera al entorno natural y situación actual de Colombia. *Sociedad y Ambiente*, 4(10) 95-112. <https://www.redalyc.org/pdf/4557/455746534005.pdf>

Quevedo, A. W (2021). Diseño y construcción de humedal artificial para la recuperación de aguas residuales en la población de Alcala. *Revista Ciencia, Tecnología e*

Innovación, 19(24), 133-147.
http://www.scielo.org.bo/pdf/rcti/v19n24/v19n24_a09.pdf

Qiu, B., Tao, X., Wang, H., Li, W., Ding, X., & Chu, H. (2021). Biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 155(105081). <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105081>

Reddy, K. R., Xie, T., Dastgheibi, S. (2014). Evaluation of Biochar as a Potential Filter Media for the Removal of Mixed Contaminants from Urban Storm Water Runoff. *Journal of Environmental Engineering*, 140(12). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0000872](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000872)

Rojas, R. (2020). *Evaluación de la rizoabsorción en plantas (Tessaria integrifolia L., Ricinus communis L. y Piper aduncum L.) de la ribera del río Tulumayo (Chanchamayo, Junín) influenciadas por efluentes mineros*. [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur].

Salas, F. (2014). Determinación de metales pesados en las aguas del río ananea debido a la actividad minera aurífera, Puno-Perú. *Revista Investig*, 5(4), 47-53. <http://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/14/11>

Salem, J., Amonkar, Y., Maennling, N., Lall, U., Bonnafous, L., Thakkar, K. (2018). *An analysis of Peru: Is water driving mining conflicts?*. *Resources Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.09.010>

Sistema de Información Geológico y Catastral Minero [GEOCATMIN]. (2020, 27 de Septiembre). *Sistema de Información Geológico y Catastral Minero*. <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C.; Reymond, P., Schertenleb, R., Zurbrügg, C., (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Eawag: Instituto Federal Suizo para la ciencia y tecnología acuática. www.sandec.ch/compendium
- Vargas, C., Bittner, C., Dreier, V., Fichtl, M., Gottmann, A., Thomas, W. (2018). Alternativas de desarrollo en las regiones mineras de Perú. *Centro de Desarrollo Rural (SLE) Berlin*. <https://edoc.hu-berlin.de>.
- Varol, M. (2011). Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Material*, 195, 355-364. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.051>
- Velasquez, G. (2020). Problemas medioambientales de la minería aurífera ilegal en Madre de Dios (Perú). *Observatorio Medioambiental*, 23, 229-241. <http://dx.doi.org/10.5209/OBMD.73177>.
- Vymazal, J. (2011). Constructed wetlands for wastewater treatment: Five decades of experience. *Environmental Science & Technology*, 45(1), 61-69. <https://doi.org/10.1021/es101403q>.
- Wang, S., Zixiang, J., Wang, Y. (2021). *Life Cycle Assessment of Artificial Wetland Systems for Rural Wastewater Treatment*. E3S Web of Conferences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129902006>
- World Wildlife Fund Inc. (2019). *Restauración de áreas degradadas por la extracción minera aurífera en Madre de Dios*. https://cincia.wfu.edu/wp-content/uploads/Restauracion-de-areas-degradadas-por-mineria-en-Madre-de-Dios_Texto.pdf

X. ABREVIATURAS

ANA: Autoridad Nacional del Agua

ECA: Estándar de Calidad de Agua

GEOCATMIN: Sistema de Información Geológico y Catastral Minero

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INACAL: Instituto Nacional de Calidad

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

INGEMMET: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

MINAM: Ministerio del Ambiente

MINEM: Ministerio de Energía y Minas

OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PAM: Pasivos Ambientales Mineros

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

XI. ANEXOS

Anexo 1. Tabla resumen de la actividad minera e impacto ambiental por departamento de la selva peruana

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
AMAZONAS	BAGUA	ARAMANGO	21	0	0	0	-
		BAGUA	3	1	0	0	-
		IMAZA	20	3	1	0	Se identifica una denuncia ambiental la cual reporta el ingreso de maquinaria especializada en la extracción de oro, siendo ubicada esta denuncia a tan solo 900 mts aproximadamente de la minera Gloria Gema 2019, la cual, de acuerdo al REINFO, aún se encuentra en proceso de formalización, por lo cual durante el desarrollo de las actividades indicadas en la denuncia, esta no contaba con un estudio de impacto ambiental aprobado y representando una amenaza para el medio ambiente.
		LA PECA	2	0	0	0	-
	BONGARA	FLORIDA	8	1	0	0	-
		VALERA	0	0	0	1	-
		SHIPASBAMBA	15	0	0	0	-
		YAMBRASAMBA	14	0	0	0	-
	CHACHAPOYAS	BALSAS	2	3	0	16	Se identificó que los 16 pasivos ambientales evaluados que podrían tener relación con la actividad minera metálica realizada por las concesiones: Minaspindo 2, Minaspindo 3 y Minaspindo 1.
		CHACHAPOYAS	0	0	0	1	-
	CONDORCANQUI	EL CENEPA	138	7	1	139	Se identificaron 139 pasivos ambientales mineros metálicos los cuales se podrían encontrar relacionadas a la actividad minera desarrollada por la concesión Comaina 1, la cual se encuentra a 1.5 km de distancia del punto en el cual se denunció a presencia de actividad minera ilegal e informal.
		NIEVA	4	0	0	0	-

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS	
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros		
		RIO SANTIAGO	18	3	1	0	Se identificó el reporte de una denuncia sobre la presencia de mineros ilegales, los cuales, debido a la falta de información no pueden ubicados en el mapa base, sin embargo de acuerdo a la información obtenida se evidencia que a 7 km de distancia aproximada, se encuentra la concesión minera Ayambis 1 la cual podría guardar relación con la denuncia.	
	LUYA	CAMPORREDONDO	1	0	0	0	-	
		COCABAMBA	2	0	0	0	-	
		SAN FRANCISCO DEL YESO / LEIMEBAMBA	0	1	0	0	-	
	RODRIGUEZ DE MENDOZA	LONGAR / MARISCAL BENAVIDES	0	1	0	0	-	
		SAN NICOLAS	0	1	0	0	-	
		OMIA	0	0	1	0	-	
	UTCUBAMBA	CAJAJURO	31	0	0	0	-	
		CUMBA	2	0	0	0	-	
		JAMALCA	1	0	0	0	-	
		EL MILAGRO	8	0	0	0	-	
	HUANUCO	AMBO	AMBO	8	4	0	4	-
			CAYNA	9	6	0	136	Se identificó la presencia de 136 pasivos ambientales mineros los cuales podrían guardar una relación con la actividad minera desarrollada por las concesiones: Ambo II y Ambo III, las cuales se encuentran en zonas cercanas a la ubicación de los pasivos.
			COLPAS	7	0	0	0	-

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
		CONCHAMARCA	3	2	1	2	Se encontró el reporte de una denuncia la cual hace referencia a la presencia de actividad minera ilegal, la cual podría tener relación con la presencia de la minera en proceso de formalización de nombre Aler-Tres-1.
		HUACAR	24	4	0	15	Se identificó la presencia de 15 pasivos ambientales mineros, de los cuales dos (02) podrían guardar una relación directa con la concesión minera El Grieco ILP.
		SAN FRANCISCO	28	3	0	6	Se identificaron seis (06) pasivos ambientales mineros los cuales podrían tener una relación con la actividad minera desarrollada por las concesiones mineras: San Jorge VIII, Domitila de Vichaycocha, San Jorge X y Don Mirko 4.
		SAN RAFAEL	33	9	0	20	Se identificaron 13 pasivos ambientales mineros que podrían tener una relación directa con la actividad minera realizada por la concesión denominada Revoución 3 de octubre N°2.
		SAN PEDRO DE CHAULAN	2	0	0	0	-
	DOS DE MAYO	CHUQUIS	8	2	0	0	-
		LA UNION	3	0	0	0	-
		MARIAS	45	6	0	0	-
		PACHAS	12	0	0	0	-
		RIPAN	2	1	0	0	-
		SILLAPATA	1	1	0	0	-
		SHUNQUI	0	1	0	0	-
		QUIVILLA	5	0	0	0	-
	YANAS	16	4	0	0	-	
HUACAYBAMBA	COCHABAMBA	24	1	0	0	-	

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
		HUACAYBAMBA	2	0	1	0	Se identificó una denuncia la cual hace referencia a una presunta contaminación ambiental como consecuencia de las actividades de minera ilegal, sin embargo, al momento no se cuenta con la información necesaria para confirmar dicha actividad. De acuerdo a lo evaluado en el mapa base, esta contaminación también podría ser consecuencia de la actividad desarrollada por la concesión Inmaculada HO1, ya que la denuncia se encuentra dentro del territorio de dicha concesión.
		PINRA	6	1	0	0	-
	HUAMALIES	ARANCAY	2	1	0	0	-
		CHAVIN DE PARIARCA	18	1	0	0	-
		JACAS GRANDE	18	0	0	0	-
		JIRCAN	5	0	0	0	-
		LLATA	38	1	0	3	-
		MONZON	38	2	0	0	-
		MIRAFLORES	4	0	0	0	-
		PUÑOS	9	2	0	0	-
		SINGA	10	0	0	0	-
		TANTAMAYO	23	1	0	0	-
	HUANUCO	AMARILIS	4	1	0	1	-
		CHINCHAO	27	0	0	0	-
		CHURUBAMBA	8	2	0	0	-

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
		HUANUCO	2	3	0	0	-
		MARGOS	2	0	0	0	-
		SANTA MARIA DEL VALLE	25	3	1	0	-
		SAN FRANCISCO DE CAYRAN	1	0	0	0	-
		SAN PABLO DE PILLAO	3	3	0	0	-
		SAN PEDRO DE CHAULAN	17	1	0	6	Se identificaron seis (06) pasivos ambientales mineros los cuales podrían tener relación con la actividad minera desarrollada por la concesión minera Morena.
		PILLCO MARCA	6	2	0	1	-
		QUISQUI	10	3	0	0	-
		YARUMAYO	9	0	0	0	-
		YURURS	0	1	0	0	-
	LAURICOCHA	BAÑOS	8	0	0	138	Se identificó un (01) pasivo ambiental minero que podría guardar relación directa con la actividad minera de la concesión Chontala 1.
		JESUS	36	0	0	0	-
		JIVIA	4	0	0	0	-
		RONDOS	11	0	1	0	Se encontró el reporte de una denuncia ambiental la cual indica una presunta afectación como consecuencia de la actividad de pequeña minería generando una afectación ambiental a río Huayoculana, pudiendo guardar relación con la actividad desarrollada por la concesión Tripulante espacial F300.
		SAN FRANCISCO DE ASIS	50	0	0	0	-
		SAN MIGUEL DE CAURI	6	1	2	0	Se encontró el reporte de dos (02) denuncias contra la actividad minera desarrollada por la empresa minera Raura SA, señalando una presunta contaminación a la laguna Caballococha.

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
		QUEROPALCA	4	0	0	0	-
	LEONCIO PRADO	CASTILLO GRANDE	0	1	0	0	-
		DANIEL ALOMIA ROBLES	57	0	0	0	-
		JOSE CRESPO Y CASTILLO	2	2	0	0	-
		HERMILIO VALDIZAN	8	0	0	0	-
		LUYANDO	3	1	0	0	-
		MARIANO DAMASO BERAUN	18	3	0	0	-
		PUEBLO NUEVO	5	1	0	0	-
		RUPA-RUPA	4	1	0	0	-
		SANTO DOMINGO DE ANDA	2	1	0	0	-
	MARAÑÓN	CHOLON	23	1	0	0	-
		HUACRACHUCO	39	5	0	0	-
		LA MORADA	0	4	0	0	-
		SAN BUENAVENTURA	2	0	0	0	-
	PACHITEA	CHAGLLA	27	3	0	0	-
		CHINCHAO	1	0	0	0	-

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
		PANAO	54	24	0	0	-
	PUERTO INCA	CODO DEL POZUZO	22	0	0	0	-
		PUERTO INCA	78	31	1	0	Se encontró una denuncia la cual señala la presencia de maquinaria pesada para la extracción de oro, actividad que se desarrollaría de forma informal o ilegal pudiendo tener relación con la concesión minera Nuevo Tony 2 o Angeles de Salvador 3.
		TOURNAVISTA	0	0	1	0	-
		YUYAPICHIS	16	7	0	0	-
		YAROWILCA	1	0	0	0	-
	YAROWILCA	APARICIO POMARES	32	1	0	0	-
		CAHUAC	7	0	0	0	-
		CHACABAMBA	1	0	1	0	Se encontró el reporte de una denuncia por afectación del río Marañón debido a la presencia de maquinaria pesada, la cual podría tener relación con la actividad minera de la concesión Rumibamba 131.
		CHAVINILLO	20	3	2	2	Se identificó una denuncia relacionada a la actividad minera sobre la extracción de oro la cual generaba un impacto en el ecosistema, dicha denuncia podría encontrarse relacionada a la actividad de la minera Goremin 1. Así mismo, se encontró una segunda denuncia relacionada a la actividad minera informal, ubicando en dicha zona la concesión minera Rumibamba 123, la cual tener relación con la denuncia en mención.
		CHORAS	1	0	0	0	-
		OBAS	3	0	0	0	-
		JACAS CHICO	1	1	0	0	-
		PAMPAMARCA	27	2	0	0	-
YAROWILCA	1	0	0	0	-		

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
JUNÍN	CHANCHAMAYO	CHANCHAMAYO	14	0	0	0	-
		PERENE	8	0	2	0	Se identificó una denuncia en la cual se reporta una presunta contaminación ambiental la cual estaría siendo generada como consecuencia por la extracción artesanal de Manganeseo, esta denuncia podría guardar una relación con la actividad realizada por la concesión minera Mirare II, la cual se encuentra ubicada a aproximadamente a 1.5 km de distancia al punto en el cual fue realizada la denuncia. Así mismo, se encontró el reporte de una denuncia por presunta contaminación de la quebrada Paritari como resultado del proceso de chancado de manganeseo, creando una posible relación con la actividad desarrollada por la concesión minera Magno 2016 III, teniendo en cuenta que esta concesión se encuentra a aproximadamente a 3.8 km del lugar de la denuncia
		PICHANAQUI	17	4	0	0	-
		SAN LUIS DE SHUARO	4	1	0	0	-
		SAN RAMON	23	3	0	10	Se identificaron diez (10) reportes de pasivos ambientales mineros, los cuales se encuentran ubicados en zonas aledañas a las concesiones mineras Pichita 01, San Vicente 262, San Vicente 261, San Vicente 268, La Fortuna 2022 y la Encantada 2018.
		VITOC	17	0	5	0	Se identificaron cinco (05) denuncias en las cuales se reporta una contaminación ambiental, ocasionada por la relavera, propiedad de la Compañía minera San Ignacio de Morococha en la concesión San Vicente. Es preciso señalar que una de las denuncias reporta de forma específica una contaminación al río Tulumayo.
	CHUPACA	YANACANCHA	52	18	0	5	-

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
		CHUPACA	1	0	0	0	-
	CONCEPCION	ANDAMARCA	17	4	0	0	-
		COCHAS	7	1	0	0	-
		COMAS	94	15	0	0	-
		MARISCAL CASTILLA	9	6	0	0	-
		ORCOTUNA	2	2	0	0	-
		SAN JOSE DE QUERO	30	1	5	123	-
	HUANCAYO	CHICCHE	3	1	0	2	-
		CHONGOS ALTO	119	7	3	79	-
		COLCA	7	0	0	0	-
		CULLHUAS	3	0	0	0	-
		CHACAPAMPA	1	0	0	0	-
		EL TAMBO	4	0	2	4	-
		HUANCAYO	35	6	0	27	-
		HUASICANCHA	6	1	0	0	-
		HUALHUAS	1	0	0	0	-
		HUAYUCACHI	0	0	0	1	-

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
		CHUPURO	2	0	0	0	-
		INGENIO	2	1	0	0	-
		PARIAHUANCA	18	8	1	0	-
		PUCARÁ	6	0	0	0	-
		QUICHUAY	1	1	1	0	-
		QUILCAS	6	0	1	0	-
		SAPALLANGA	10	0	0	3	-
		SAN JERONIMO DE TUNAN	0	0	0	1	-
		SANTO DOMINGO DE ACOBAMBA	7	2	0	0	-
	JAUJA	ACOLLA	7	1	0	35	-
		APATA	22	4	0	30	-
		CANCHAYLLO	1	0	0	28	-
		CUARIACACA	2	0	0	1	-
		EL MANTARO	2	1	0	0	-
		HUAMALI	0	1	0	0	-
JANJAILLO		1	0	0	0	-	
JAUJA	0	1	0	0	-		

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
		LEONOR ORDOÑEZ	3	1	0	0	-
		LLOCLLAPAMPA	4	0	0	0	-
		MASMA CHICCHE	2	1	0	0	-
		MOLINOS	14	0	0	0	-
		MONOBAMBA	16	2	0	0	-
		PACA	10	0	0	0	-
		PARCO	2	1	0	0	-
		POMACANCHA	12	1	0	0	-
		RICRAN	56	13	0	83	-
		SAN LORENZO	2	2	0	0	-
		SINCOS	2	0	0	0	-
		YAULI	5	0	1	0	-
		YAUYOS	0	0	0	0	-
	JUNIN	CARHUAMAYO	26	0	0	41	-
		JUNIN	9	1	0	0	-
		ONDORES	6	0	2	2	-
		ULCUMAYO	87	20	0	0	-

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
	SATIOPO	COVIRIALI	3	0	0	0	-
		LLAYLLA	1	1	0	0	-
		PAMPA HERMOSA	7	1	0	0	-
		PANGOA	10	0	0	0	-
		RIO TAMBO	0	1	0	0	-
		SATIOPO	2	0	2	0	Se identificó una denuncia la cual hace referencia a una posible afectación del río Satipo, luego de realizar el análisis de la zona se pudo identificar que a 7 km de distancia aproximada se encuentra la concesión minera Paulina I, la cual desarrolla actividad minera metálica y podría tener alguna relación con la denuncia evaluada.
	TARMA	ACOBAMBA	5	2	0	0	-
		HUARICOLCA	12	3	0	0	-
		LA UNIÓN	23	0	0	1	-
		HUASAHUASI	12	2	0	0	-
		PALCA	12	5	0	0	-
		PALCAMAYO	7	1	0	0	-
		SAN PEDRO DE CAJAS	3	1	0	0	-
		TAPO	26	7	0	0	-
	TARMA	28	8	1	0	-	
	YAULI	CHACAPALPA	11	1	0	28	-

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
		HUAY HUAY	11	0	1	2	-
		LA OROYA	10	4	3	0	-
		MARCAPOMACOCHA	123	6	1	26	-
		MOROCOCHA	45	0	5	5	-
		PACCHA	13	5	0	0	-
		SANTA BARBARA DE CARHUACAYAN	47	3	0	108	-
		SANTA ROSA DE SACCO	5	2	0	0	-
		SUITUCANCHA	9	2	0	29	-
		YAULI	225	5	4	13	-
		MOROCOCHA	560	0	0	0	-
LORETO	ALTO AMAZONAS	BALSAPUERTO	18	0	0	0	-
		YURIMAGUAS	1	0	0	0	-
	DATEM DEL MARAÑON	BARRANCA	9	0	0	0	-
		CAHUAPANAS	10	0	0	0	-
		MANSERICHE	37	12	0	0	-
	MAYNAS	NAPO	0	0	2	0	-

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
		MAZAN	1	0	1	0	-
		SAN JUAN BAUTISTA	0	1	0	0	-
MADRE DE DIOS	TAMBOPATA	INAMBARI	535	391	4	7	-
		LABERINTO	476	293	2	1	-
		LAS PIEDRAS	90	25	0	0	-
		TAMBOPATA	233	112	4	3	-
	MANU	MADRE DE DIOS	705	527	4	5	-
		HUEPETUHE	495	348	1	6	-
		MANU	1	2	0	0	-
SAN MARTÍN	LAMAS	ALONSO DE ALVARADO	16	0	0	0	-
		BARRANQUITA	0	0	0	0	-
		LAMAS	9	0	0	0	-
		PINTO RECODO	9	0	0	0	-
		TABALOSOS	29	0	0	0	-
		SAN ROQUE DE CUMBAZA	25	0	0	0	-
	BELLAVISTA	BELLAVISTA	0	0	0	0	-

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
	EL DORADO	SAN MARTÍN	16	0	0	0	-
	HUALLAGA	ALTO SAPOSA	34	0	0	0	-
		PISCOYACU	11	0	0	0	-
		SACANCHE	5	0	0	0	-
		SAPOSOA	4	0	0	0	-
		PICOTA	PILLUANA	0	0	0	1
	TOCACHE	SHUNTE	18	6	0	0	-
	MOYOBAMBA	JEPELACIO	7	0	0	0	-
		MOYOBAMBA	13	0	0	0	-
		SORITOR	1	0	0	0	-
	SAN MARTIN	SAN ANTONIO	3	0	0	0	-
		HUIMBAYOC	5	0	0	0	-
		LA BANDA DEL SHILCAYO	1	0	0	0	-
	MARISCAL CÁCERES	JUANJUI	4	0	0	0	-
		HUICUNGO	20	0	0	0	-
		PACHIZA	2	0	0	0	-

UBICACIÓN			ACTIVIDAD MINERA		IMPACTO AMBIENTAL		ANÁLISIS
Departamento	Provincia	Distrito	Concesiones Mineras Metálicas	Minería metálica en proceso de formalización	Denuncias Ambientales	Pasivos Ambientales Mineros	
	RIOJA	RIOJA	0	1	0	0	-
UCAYALI	ATALAYA	RAYMONDI	1	0	0	0	-
	CORONEL PORTILLO	CALLERIA	4	2	1	0	-
		NUEVA REQUENA	0	1	0	0	-
		MANANTAY	1	0	0	0	-
	PADRE ABAD	CURIMANA	2	0	0	0	-
		PADRE ABAD	41	3	0	0	-
	PURUS	PURUS	1	0	0	0	-

Anexo 2. Proyección con el modelo de remoción de fósforo para la estimación de dimensiones para el humedal artificial

% remoción	Población	Caudal poblacional (m ³ .d ⁻¹)	Concentración de Cd inicial (mg.l ⁻¹)	Concentración de Cd final (mg.l ⁻¹)	Área superficial (m ²)	Ancho (m)	Largo (m)	Área transversal (m ²)	Capacidad de diseño (Ecuación de Darcy) (m ³ .d ⁻¹)	Tiempo de retención hidráulica (Días)
10%	100	15	0,003	0,003	57,68	5,37	10,74	4,30	214,81	1,08
10%	200	30	0,003	0,003	115,36	7,59	15,19	6,08	303,79	1,08
10%	500	75	0,003	0,003	288,40	12,01	24,02	9,61	480,33	1,08
10%	1000	150	0,003	0,003	576,79	16,98	33,96	13,59	679,29	1,08
10%	5000	750	0,003	0,003	2883,96	37,97	75,95	30,38	1518,94	1,08
10%	10000	1500	0,003	0,003	5767,91	53,70	107,40	42,96	2148,10	1,08
10%	20000	3000	0,003	0,003	11535,82	75,95	151,89	60,76	3037,87	1,08
10%	25000	3750	0,003	0,003	14419,78	84,91	169,82	67,93	3396,44	1,08
10%	50000	7500	0,003	0,003	28839,56	120,08	240,16	96,07	4803,30	1,08
20%	100	15	0,004	0,003	122,16	7,82	15,63	6,25	312,61	2,28
20%	200	30	0,004	0,003	244,32	11,05	22,11	8,84	442,10	2,28
20%	500	75	0,004	0,003	610,79	17,48	34,95	13,98	699,02	2,28
20%	1000	150	0,004	0,003	1221,59	24,71	49,43	19,77	988,57	2,28
20%	5000	750	0,004	0,003	6107,94	55,26	110,53	44,21	2210,51	2,28
20%	10000	1500	0,004	0,003	12215,89	78,15	156,31	62,52	3126,13	2,28
20%	20000	3000	0,004	0,003	24431,78	110,53	221,05	88,42	4421,02	2,28
20%	25000	3750	0,004	0,003	30539,72	123,57	247,14	98,86	4942,85	2,28
20%	50000	7500	0,004	0,003	61079,44	174,76	349,51	139,80	6990,25	2,28
30%	100	15	0,004	0,003	195,26	9,88	19,76	7,90	395,23	3,64
30%	200	30	0,004	0,003	390,52	13,97	27,95	11,18	558,94	3,64
30%	500	75	0,004	0,003	976,30	22,09	44,19	17,68	883,76	3,64
30%	1000	150	0,004	0,003	1952,60	31,25	62,49	25,00	1249,83	3,64
30%	5000	750	0,004	0,003	9763,00	69,87	139,74	55,89	2794,71	3,64
30%	10000	1500	0,004	0,003	19526,00	98,81	197,62	79,05	3952,32	3,64
30%	20000	3000	0,004	0,003	39052,00	139,74	279,47	111,79	5589,42	3,64
30%	25000	3750	0,004	0,003	48815,00	156,23	312,46	124,98	6249,16	3,64
30%	50000	7500	0,004	0,003	97630,00	220,94	441,88	176,75	8837,65	3,64
40%	100	15	0,005	0,003	279,65	11,82	23,65	9,46	472,99	5,22
40%	200	30	0,005	0,003	559,30	16,72	33,45	13,38	668,91	5,22
40%	500	75	0,005	0,003	1398,25	26,44	52,88	21,15	1057,64	5,22
40%	1000	150	0,005	0,003	2796,49	37,39	74,79	29,91	1495,72	5,22
40%	5000	750	0,005	0,003	13982,45	83,61	167,23	66,89	3344,54	5,22
40%	10000	1500	0,005	0,003	27964,91	118,25	236,49	94,60	4729,90	5,22
40%	20000	3000	0,005	0,003	55929,81	167,23	334,45	133,78	6689,08	5,22
40%	25000	3750	0,005	0,003	69912,27	186,97	373,93	149,57	7478,62	5,22
40%	50000	7500	0,005	0,003	139824,53	264,41	528,82	211,53	10576,37	5,22
50%	100	15	0,006	0,003	379,46	13,77	27,55	11,02	550,97	7,08
50%	200	30	0,006	0,003	758,92	19,48	38,96	15,58	779,19	7,08
50%	500	75	0,006	0,003	1897,30	30,80	61,60	24,64	1232,01	7,08
50%	1000	150	0,006	0,003	3794,60	43,56	87,12	34,85	1742,32	7,08
50%	5000	750	0,006	0,003	18973,01	97,40	194,80	77,92	3895,95	7,08

% remoción	Población	Caudal poblacional (m ³ .d ⁻¹)	Concentración de Cd inicial (mg.l ⁻¹)	Concentración de Cd final (mg.l ⁻¹)	Área superficial (m ²)	Ancho (m)	Largo (m)	Área transversal (m ²)	Capacidad de diseño (Ecuación de Darcy) (m ³ .d ⁻¹)	Tiempo de retención hidráulica (Días)
50%	10000	1500	0,006	0,003	37946,01	137,74	275,49	110,19	5509,70	7,08
50%	20000	3000	0,006	0,003	75892,03	194,80	389,59	155,84	7791,89	7,08
50%	25000	3750	0,006	0,003	94865,03	217,79	435,58	174,23	8711,60	7,08
50%	50000	7500	0,006	0,003	189730,07	308,00	616,00	246,40	12320,07	7,08
60%	100	15	0,008	0,003	501,62	15,84	31,67	12,67	633,48	9,36
60%	200	30	0,008	0,003	1003,24	22,40	44,79	17,92	895,87	9,36
60%	500	75	0,008	0,003	2508,10	35,41	70,83	28,33	1416,50	9,36
60%	1000	150	0,008	0,003	5016,19	50,08	100,16	40,06	2003,24	9,36
60%	5000	750	0,008	0,003	25080,95	111,98	223,97	89,59	4479,37	9,36
60%	10000	1500	0,008	0,003	50161,90	158,37	316,74	126,70	6334,79	9,36
60%	20000	3000	0,008	0,003	100323,80	223,97	447,94	179,17	8958,74	9,36
60%	25000	3750	0,008	0,003	125404,75	250,40	500,81	200,32	10016,18	9,36
60%	50000	7500	0,008	0,003	250809,51	354,13	708,25	283,30	14165,01	9,36
70%	100	15	0,010	0,003	659,11	18,15	36,31	14,52	726,15	12,30
70%	200	30	0,010	0,003	1318,22	25,67	51,35	20,54	1026,92	12,30
70%	500	75	0,010	0,003	3295,55	40,59	81,19	32,47	1623,71	12,30
70%	1000	150	0,010	0,003	6591,09	57,41	114,81	45,93	2296,27	12,30
70%	5000	750	0,010	0,003	32955,46	128,37	256,73	102,69	5134,62	12,30
70%	10000	1500	0,010	0,003	65910,92	181,54	363,07	145,23	7261,46	12,30
70%	20000	3000	0,010	0,003	131821,84	256,73	513,46	205,38	10269,25	12,30
70%	25000	3750	0,010	0,003	164777,30	287,03	574,07	229,63	11481,37	12,30
70%	50000	7500	0,010	0,003	329554,60	405,93	811,86	324,74	16237,11	12,30
80%	100	15	0,015	0,003	881,08	20,99	41,98	16,79	839,56	16,45
80%	200	30	0,015	0,003	1762,16	29,68	59,37	23,75	1187,32	16,45
80%	500	75	0,015	0,003	4405,40	46,93	93,87	37,55	1877,32	16,45
80%	1000	150	0,015	0,003	8810,79	66,37	132,75	53,10	2654,93	16,45
80%	5000	750	0,015	0,003	44053,96	148,41	296,83	118,73	5936,60	16,45
80%	10000	1500	0,015	0,003	88107,91	209,89	419,78	167,91	8395,61	16,45
80%	20000	3000	0,015	0,003	176215,83	296,83	593,66	237,46	11873,19	16,45
80%	25000	3750	0,015	0,003	220269,79	331,87	663,73	265,49	13274,63	16,45
80%	50000	7500	0,015	0,003	440539,57	469,33	938,66	375,46	18773,16	16,45
90%	100	15	0,030	0,003	1260,54	25,11	50,21	20,08	1004,21	23,53
90%	200	30	0,030	0,003	2521,08	35,50	71,01	28,40	1420,16	23,53
90%	500	75	0,030	0,003	6302,70	56,14	112,27	44,91	2245,47	23,53
90%	1000	150	0,030	0,003	12605,39	79,39	158,78	63,51	3175,58	23,53
90%	5000	750	0,030	0,003	63026,96	177,52	355,04	142,02	7100,81	23,53
90%	10000	1500	0,030	0,003	126053,93	251,05	502,10	200,84	10042,07	23,53
90%	20000	3000	0,030	0,003	252107,86	355,04	710,08	284,03	14201,63	23,53
90%	25000	3750	0,030	0,003	315134,82	396,95	793,90	317,56	15877,90	23,53
90%	50000	7500	0,030	0,003	630269,64	561,37	1122,74	449,09	22454,75	23,53

Anexo 3. Proyección con el modelo de remoción de nitrógeno para la estimación de dimensiones para el humedal artificial

% remoción	Población	Caudal poblacional (m ³ .d ⁻¹)	Concentración de Cd inicial (mg.l ⁻¹)	Concentración de Cd final (mg.l ⁻¹)	Área superficial (m ²)	Ancho (m)	Largo (m)	Área transversal (m ²)	Capacidad de diseño (Ecuación de Darcy) (m ³ .d ⁻¹)	Tiempo de retención hidráulica (Días)
10%	100	15	0,003	0,003	482,94	15,54	31,08	12,43	621,57	9,01
10%	200	30	0,003	0,003	965,87	21,98	43,95	17,58	879,03	9,01
10%	500	75	0,003	0,003	2414,68	34,75	69,49	27,80	1389,87	9,01
10%	1000	150	0,003	0,003	4829,36	49,14	98,28	39,31	1965,58	9,01
10%	5000	750	0,003	0,003	24146,80	109,88	219,76	87,90	4395,16	9,01
10%	10000	1500	0,003	0,003	48293,59	155,39	310,78	124,31	6215,70	9,01
10%	20000	3000	0,003	0,003	96587,18	219,76	439,52	175,81	8790,32	9,01
10%	25000	3750	0,003	0,003	120733,98	245,70	491,39	196,56	9827,88	9,01
10%	50000	7500	0,003	0,003	241467,95	347,47	694,94	277,97	13898,72	9,01
20%	100	15	0,004	0,003	1022,81	22,61	45,23	18,09	904,57	19,09
20%	200	30	0,004	0,003	2045,62	31,98	63,96	25,59	1279,26	19,09
20%	500	75	0,004	0,003	5114,06	50,57	101,13	40,45	2022,68	19,09
20%	1000	150	0,004	0,003	10228,12	71,51	143,03	57,21	2860,51	19,09
20%	5000	750	0,004	0,003	51140,62	159,91	319,81	127,93	6396,29	19,09
20%	10000	1500	0,004	0,003	102281,23	226,14	452,29	180,91	9045,72	19,09
20%	20000	3000	0,004	0,003	204562,46	319,81	639,63	255,85	12792,57	19,09
20%	25000	3750	0,004	0,003	255703,08	357,56	715,13	286,05	14302,53	19,09
20%	50000	7500	0,004	0,003	511406,15	505,67	1011,34	404,54	20226,84	19,09
30%	100	15	0,004	0,003	1634,87	28,59	57,18	22,87	1143,63	30,52
30%	200	30	0,004	0,003	3269,75	40,43	80,87	32,35	1617,34	30,52
30%	500	75	0,004	0,003	8174,37	63,93	127,86	51,14	2557,24	30,52
30%	1000	150	0,004	0,003	16348,74	90,41	180,82	72,33	3616,49	30,52
30%	5000	750	0,004	0,003	81743,68	202,17	404,34	161,73	8086,71	30,52
30%	10000	1500	0,004	0,003	163487,37	285,91	571,82	228,73	11436,34	30,52
30%	20000	3000	0,004	0,003	326974,74	404,34	808,67	323,47	16173,43	30,52
30%	25000	3750	0,004	0,003	408718,42	452,06	904,12	361,65	18082,44	30,52
30%	50000	7500	0,004	0,003	817436,85	639,31	1278,62	511,45	25572,44	30,52
40%	100	15	0,005	0,003	2341,45	34,22	68,43	27,37	1368,63	43,71
40%	200	30	0,005	0,003	4682,89	48,39	96,78	38,71	1935,54	43,71
40%	500	75	0,005	0,003	11707,23	76,51	153,02	61,21	3060,36	43,71
40%	1000	150	0,005	0,003	23414,47	108,20	216,40	86,56	4328,00	43,71
40%	5000	750	0,005	0,003	117072,34	241,94	483,88	193,55	9677,70	43,71
40%	10000	1500	0,005	0,003	234144,67	342,16	684,32	273,73	13686,33	43,71
40%	20000	3000	0,005	0,003	468289,34	483,88	967,77	387,11	19355,40	43,71
40%	25000	3750	0,005	0,003	585361,68	541,00	1082,00	432,80	21639,99	43,71
40%	50000	7500	0,005	0,003	1170723,35	765,09	1530,18	612,07	30603,57	43,71
50%	100	15	0,006	0,003	3177,15	39,86	79,71	31,89	1594,28	59,31
50%	200	30	0,006	0,003	6354,29	56,37	112,73	45,09	2254,65	59,31
50%	500	75	0,006	0,003	15885,73	89,12	178,25	71,30	3564,91	59,31
50%	1000	150	0,006	0,003	31771,45	126,04	252,08	100,83	5041,54	59,31
50%	5000	750	0,006	0,003	158857,26	281,83	563,66	225,46	11273,23	59,31
50%	10000	1500	0,006	0,003	317714,52	398,57	797,14	318,86	15942,76	59,31
50%	20000	3000	0,006	0,003	635429,04	563,66	1127,32	450,93	22546,47	59,31
50%	25000	3750	0,006	0,003	794286,30	630,19	1260,39	504,15	25207,72	59,31
50%	50000	7500	0,006	0,003	1588572,61	891,23	1782,45	712,98	35649,10	59,31

% remoción	Población	Caudal poblacional (m ³ .d ⁻¹)	Concentración de Cd inicial (mg.l ⁻¹)	Concentración de Cd final (mg.l ⁻¹)	Área superficial (m ²)	Ancho (m)	Largo (m)	Área transversal (m ²)	Capacidad de diseño (Ecuación de Darcy) (m ³ .d ⁻¹)	Tiempo de retención hidráulica (Días)
60%	100	15	0,008	0,003	4199,96	45,83	91,65	36,66	1833,02	78,40
60%	200	30	0,008	0,003	8399,92	64,81	129,61	51,85	2592,28	78,40
60%	500	75	0,008	0,003	20999,79	102,47	204,94	81,98	4098,76	78,40
60%	1000	150	0,008	0,003	41999,58	144,91	289,83	115,93	5796,52	78,40
60%	5000	750	0,008	0,003	209997,88	324,04	648,07	259,23	12961,42	78,40
60%	10000	1500	0,008	0,003	419995,75	458,26	916,51	366,60	18330,21	78,40
60%	20000	3000	0,008	0,003	839991,50	648,07	1296,14	518,46	25922,83	78,40
60%	25000	3750	0,008	0,003	1049989,38	724,57	1449,13	579,65	28982,61	78,40
60%	50000	7500	0,008	0,003	2099978,76	1024,69	2049,38	819,75	40987,60	78,40
70%	100	15	0,010	0,003	5518,59	52,53	105,06	42,02	2101,16	103,01
70%	200	30	0,010	0,003	11037,18	74,29	148,57	59,43	2971,49	103,01
70%	500	75	0,010	0,003	27592,96	117,46	234,92	93,97	4698,34	103,01
70%	1000	150	0,010	0,003	55185,92	166,11	332,22	132,89	6644,45	103,01
70%	5000	750	0,010	0,003	275929,60	371,44	742,87	297,15	14857,45	103,01
70%	10000	1500	0,010	0,003	551859,19	525,29	1050,58	420,23	21011,60	103,01
70%	20000	3000	0,010	0,003	1103718,38	742,87	1485,74	594,30	29714,89	103,01
70%	25000	3750	0,010	0,003	1379647,98	830,56	1661,11	664,45	33222,26	103,01
70%	50000	7500	0,010	0,003	2759295,96	1174,58	2349,17	939,67	46983,37	103,01
80%	100	15	0,015	0,003	7377,10	60,73	121,47	48,59	2429,34	137,71
80%	200	30	0,015	0,003	14754,21	85,89	171,78	68,71	3435,60	137,71
80%	500	75	0,015	0,003	36885,51	135,80	271,61	108,64	5432,16	137,71
80%	1000	150	0,015	0,003	73771,03	192,06	384,11	153,64	7682,24	137,71
80%	5000	750	0,015	0,003	368855,14	429,45	858,90	343,56	17178,01	137,71
80%	10000	1500	0,015	0,003	737710,27	607,33	1214,67	485,87	24293,38	137,71
80%	20000	3000	0,015	0,003	1475420,55	858,90	1717,80	687,12	34356,02	137,71
80%	25000	3750	0,015	0,003	1844275,68	960,28	1920,56	768,22	38411,20	137,71
80%	50000	7500	0,015	0,003	3688551,37	1358,04	2716,08	1086,43	54321,64	137,71
90%	100	15	0,030	0,003	10554,25	72,64	145,29	58,12	2905,75	197,01
90%	200	30	0,030	0,003	21108,50	102,73	205,47	82,19	4109,35	197,01
90%	500	75	0,030	0,003	52771,24	162,44	324,87	129,95	6497,46	197,01
90%	1000	150	0,030	0,003	105542,48	229,72	459,44	183,78	9188,80	197,01
90%	5000	750	0,030	0,003	527712,40	513,67	1027,34	410,94	20546,77	197,01
90%	10000	1500	0,030	0,003	1055424,79	726,44	1452,88	581,15	29057,53	197,01
90%	20000	3000	0,030	0,003	2110849,59	1027,34	2054,68	821,87	41093,55	197,01
90%	25000	3750	0,030	0,003	2638561,99	1148,60	2297,20	918,88	45943,98	197,01
90%	50000	7500	0,030	0,003	5277123,97	1624,37	3248,73	1299,49	64974,60	197,01

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°050-2022-DACIA-DAFCA-U. CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 16 de marzo del 2022

VISTO:

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: ***“RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS DE LA SELVA PERUANA IMPACTADOS POR RESIDUOS DE METALES PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD MINERA”*** presentado por:

- **Vanessa Scarleth Toro Ruiz**
- **Alejandra Isabel Carpio Segovia**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: ***“RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS DE LA SELVA PERUANA IMPACTADOS POR RESIDUOS DE METALES PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD MINERA”*** y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Susan Medina Canzio** como asesor(a) para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,


Dr. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental